

**EFICIENCIA DEL USO DE LAS ESPECIES COMO (GRAMINEAS Y
LEGUMINOSAS – (FABACEAS) EN SUELOS DISTURBADOS POR MINERIA DE
ARCILLA EN LA MINA “EL CIELO” CORREGIMIENTO DE VALENCIA DE
JESUS-CESAR.**

AUTORES:

**BAQUERO CASTILLA CAMILO ANDRES
HIGIDIO FERRER GABRIELA CAROLINA**



**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR - CESAR
2022**

**EFICIENCIA DEL USO DE LAS ESPECIES COMO (GRAMINEAS Y
LEGUMINOSAS – (FABACEAS) EN SUELOS DISTURBADOS POR MINERIA DE
ARCILLA EN LA MINA “EL CIELO” CORREGIMIENTO DE VALENCIA DE
JESUS-CESAR.**

AUTORES:

BAQUERO CASTILLA CAMILO ANDRES
HIGIDIO FERRER GABRIELA CAROLINA

DIRECTOR(A)

KARINA PAOLA TORRES CERVERA
MAGISTER EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
CANDIDATA A DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR
2022**

DEDICATORIA

En primer lugar, le dedicamos este trabajo a Dios por ser nuestra guía espiritual que nos conduce siempre al camino del bien y el éxito. Y por darnos la conformidad de tener a nuestros padres con vida y salud, al igual que todas las personas que confiaron en nosotros.

A nuestros padres, quienes a lo largo de la vida se han preocupado por nuestro bienestar y educación, siendo nuestro apoyo en todo momento depositando su confianza en cada reto sin dudar en un solo momento de nuestra inteligencia y capacidad.

A la Universidad Popular del Cesar en cuyas aulas logramos nuestra formación profesional y humana.



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinitamente en primera instancia a Dios por permitirnos terminar este proyecto con éxito.

A una mujer que es ejemplo de superación, bondad y amor, nuestra directora MSc. Karina Torres, quien durante todo este tiempo nos apoyó en la realización de este trabajo de grado depositando su confianza y estando incondicionalmente siempre que tocábamos su puerta.

A nuestros padres por infundirnos amor y responsabilidad por el estudio, ayudarnos cada día a superarnos más, y a todos los que hicieron esto posible. Nuestra gratitud y respeto.

A nuestros amigos por su apoyo y colaboración en este proyecto durante toda la etapa de la realización del proyecto.



RESUMEN

La presente investigación se centró en la implementación de diferentes especies para evaluar la eficiencia de estas en suelos disturbados por la minera de arcilla. Se tomó una parte del terreno a la cual se le hizo una caracterización físico-química y microbiológica para conocer las condiciones del suelo en estudio antes de aplicar las especies, luego se dividió en cuatro parcelamientos de medidas iguales, de 1,5x1 m, uno de control y tres en los cuales aplicamos las respectivas especies, esto con el objetivo de evaluar la eficiencia de la interacción de las especies en el suelo contaminado por minería. Este estudio reveló la gran capacidad de las gramíneas (Maíz, pasto estrella y pasto brachiaria), y leguminosas (Yaguaro y Acacia Riparia Kunth), para proporcionar materiales orgánicos y nutrientes que permitieron la evaluación de la eficiencia o la reactivación de los suelos contaminados por la mina "El Cielo" en el corregimiento de Valencia de Jesús-Cesar. Cabe resaltar que de los tres parcelamientos donde fueron aplicadas las especies, el que tuvo una mayor una eficiencia fue el parcelamiento tres.

Palabras clave: Arcilla; gramíneas; leguminosas; suelo, fabáceas.



ABSTRACT

This research focused on the implementation of different species to evaluate their efficiency in soils disturbed by clay mining. A part of the land was taken and a physical-chemical and microbiological characterization was made to know the conditions of the soil under study before applying the species, then it was divided into four plots of equal measures, 1.5x1 m, one control and three in which we applied the respective species, this with the objective of evaluating the efficiency of the interaction of the species in the soil contaminated by mining. This study revealed the great capacity of grasses (Maize, star grass and brachiaria grass), and leguminous (Yaguaro and Acacia Riparia Kunth), to provide organic materials and nutrients that allowed the recovery or reactivation of soils contaminated by the mine "El Cielo" in the township of Valencia de Jesús-Cesar. It should be noted that of the three plots where the species were applied, the one with the highest efficiency was plot three.

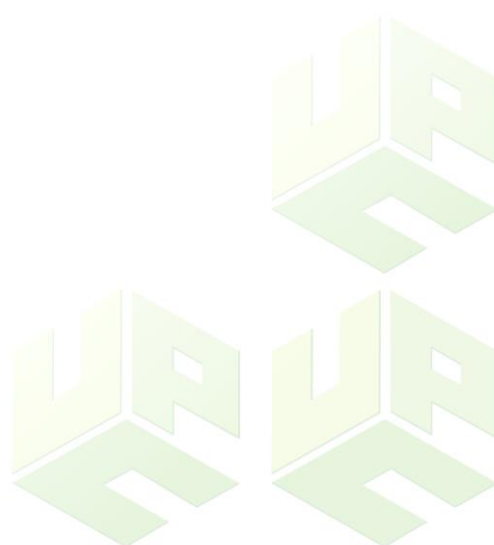
Key words: Clay; grasses; legumes; soil, fabaceae



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. MARCO REFERENCIAL	18
4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:.....	18
4.2 MARCO TEORICO	21
4.2.1 Suelo	21
4.2.2 ¿Qué es la minería?.....	26
4.2.3 ¿Qué son las gramíneas?	27
4.2.4 ¿Qué es una fabácea?	28
4.3 MARCO CONCEPTUAL	30
4.4 MARCO CONTEXTUAL	32
4.5 MARCO LEGAL	34
5. MARCO METODOLOGICO.....	36
5.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	36
5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
5.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	36
5.4 POBLACIÓN	36
5.5 MUESTRA	37
5.6 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
5.7 DESARROLLO METODOLOGICO	37
5.7.1. Etapa 1:	37

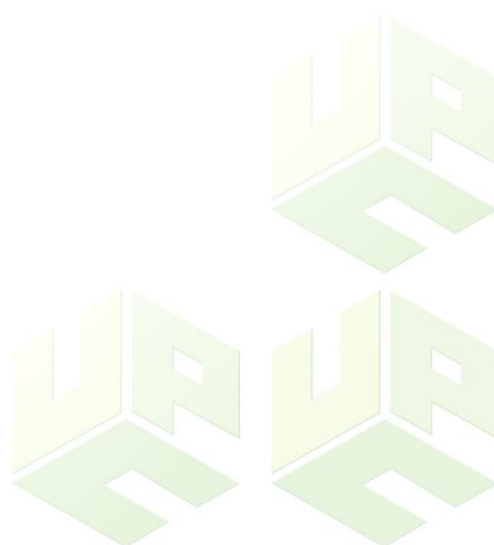
5.7.2. Etapa 2:	39
5.7.3. Etapa 3:	40
6. RESULTADOS Y ANALISIS	41
7. CONCLUSIONES	79
8. RECOMENDACIONES	81
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	82
ANEXOS	86



LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Localización geográfica corregimiento Valencia de Jesús	32
Imagen 2. Acceso al título Vereda El Cielo	32
Imagen 3. Localización de la Cantera el Cielo	33
Imagen 4. Excavación	41
Imagen 5. Toma de muestra.....	41
Imagen 6. Muestra rotulada	42
Imagen 7 Trichoderma sp	46
Imagen 8. Penicillium sp	46
Imagen 9. Parcelamientos.....	47
Imagen 10. Aireación del terreno.....	48
Imagen 11. Humectación del terreno	48
Imagen 12. Aplicación de las especies.....	50
Imagen 13. Aplicación en la enmienda	50
Imagen 14. 15 días post siembra.....	51
Imagen 15. 31 días post siembra.....	51
Imagen 16. 46 días post siembra.....	52
Imagen 17. 63 días post siembra.....	52
Imagen 18. 78 días post siembra.....	53
Imagen 19. 121 días post siembra.....	53
Imagen 20. Crecimiento de la raíz a los 121 días	54
Imagen 21. Toma de muestra para análisis post tratamiento.....	55
Imagen 22. Muestreo por parcelamiento	55
Imagen 23. Variación de cobre en el suelo disturbado	67
Imagen 24. Variación de zinc en el suelo disturbado.....	68
Imagen 25. Variación de boro en el suelo disturbado	69
Imagen 26. Variación de magnesio en el suelo disturbado	70
Imagen 27. Variación del calcio en el suelo disturbado.....	71
Imagen 28. Variación del fosforo en el suelo disturbado.....	72
Imagen 29. Variación de potasio en el suelo disturbado.....	73
Imagen 30. Variación de azufre en el suelo disturbado	74

Imagen 31. Trichoderma sp presentes en el parcelamiento de control y parcelamiento 3.....	76
Imagen 32. Penicillium sp presentes en los cuatro parcelamientos	76
Imagen 33. Aspergillus sp presente en los parcelamiento 1, 2 y 3	76
Imagen 34. Mucor sp presente en el parcelamiento 3	77
Imagen 35. Fusarium sp presentes en el parcelamiento 3	77



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas polígono de Título Minero 0164-20	33
Tabla 2. Matriz de identificación de aspectos legales.....	34
Tabla 3. Técnicas y/o métodos aplicados para el análisis fisicoquímico y microbiológico del suelo	38
Tabla 4. Descripción de las especies aplicadas en el suelo	39
Tabla 5. Análisis Físicos iniciales.....	42
Tabla 6. Análisis químicos iniciales.....	43
Tabla 7. Análisis microbiológico inicial del suelo disturbado	45
Tabla 8. Distribución y aplicación de las especies.....	49
Tabla 9. Crecimiento de las especies	54
Tabla 10. Análisis físicos post tratamiento.....	56
Tabla 11. Análisis químicos post tratamiento.....	59
Tabla 12. Análisis microbiológicos post tratamiento.....	75



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema del parcelamiento de la zona.....	40
Ilustración 2. Parcelamientos demostrativos.....	47



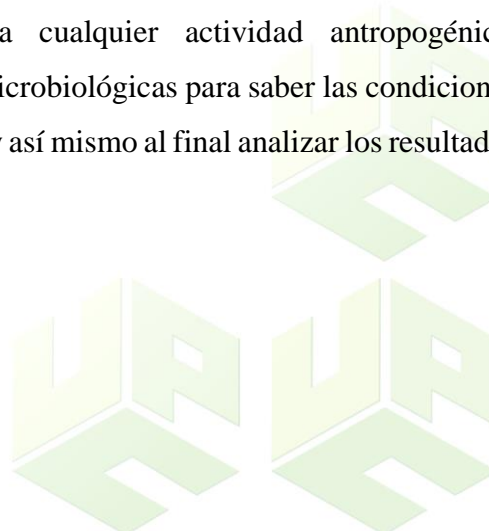
INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se refiere al tema de los suelos afectados por la actividad minera, específicamente la extracción de arcilla, para nadie en un secreto el grado de contaminación que se vive hoy en día por las explotaciones mineras las cuales pueden ser causa y origen de fuertes impactos sobre el suelo, debido principalmente a los grandes volúmenes de materiales que se desplazan, creando huecos y escombreras que cambian la fisiografía de la zona y alteran las características productivas del terreno, dando lugar a problemas ambientales, ecológicos y paisajísticos, allí donde se ubica la operación minera y trascendiendo a los alrededores en muchas ocasiones (Paradelo, 2013).

Así mismo, la degradación del suelo es la pérdida de su productividad y utilidad actual o potencial, que implica el desmejoramiento del suelo en su capacidad inherente para producir bienes y servicios y para realizar sus funciones de regulación ambiental (Lal, 1998).

Debido a todas estas consecuencias que traen consigo las actividades mineras hemos decidido comenzar este proyecto para brindarle a la comunidad una mejor calidad de vida, donde pueden vivir en un ambiente limpio y sobre todo recuperar el suelo que está contaminado.

Nuestro proyecto de investigación consiste en analizar la eficiencia de la aplicación de especies (gramíneas y leguminosas - (fabáceas) como indicadores de la recuperación de los suelos disturbados por minería de arcilla en la mina “El Cielo” en el corregimiento de Valencia de Jesús-Cesar, el cual es muy rentable porque nos ayudara a rehabilitar las zonas afectas y así a futuro poder darle un aprovechamiento para cualquier actividad antropogénica. Identificaremos las propiedades físicas, químicas y microbiológicas para saber las condiciones con las que encontramos el suelo antes de remediarlo y así mismo al final analizar los resultados obtenidos después.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ser humano, día a día ha tenido la gran necesidad de satisfacer sus necesidades básicas, generando para este un desarrollo en su entorno, y beneficiándolo de manera recíproca a como se ha desempeñado con su esfuerzo. Pero esto debe generarse en un ambiente sano, donde los daños no afecten a su vida ni al entorno, si es que lo afectan; para así garantizar una mayor eficiencia en esta mejora (Ávila & Molina, 2013), una de las principales actividades que ocasiona o que no permite un ambiente sano es la minería que para nadie es un secreto que es una de los principales motores económicos del país, pero también se sabe que causa mucha contaminación al medio.

En el corregimiento de Valencia de Jesús municipio de Valledupar – Cesar encontramos muchos suelos que se encuentran disturbados por las diferentes actividades antrópicas como es la agricultura, la ganadería y la actividad minería que es una de las principales y que se ejecuta en el área de influencia en la extracción de arcilla para fabricación de ladrillos generando impactos negativos al entorno de carácter significativo.

La mina “El Cielo” es una de las minas cooperativas de trabajo comunitario más representativas, se encuentra ubicada en el corregimiento de Valencia de Jesús municipio de Valledupar - Cesar, es el sustento económico de la comunidad aledaña, la cual se dedica a la minería artesanal de extracción de arcilla para la fabricación de ladrillo. Esta cantera emplea técnicas de extracción de materia prima muy rudimentarias (extracción de arcilla, mezclado, moldeo, secado, cocción), por los implementos mineros que se utilizan (Palas, Picos, entre otras herramientas de agricultura), es así como finalmente nace la industria ladrillera. (Navarro, 2017). Estas arcillas hacen parte de la composición del aluvial que pertenece a la Planicie del Cesar, constituidos por una secuencia de capas de arcillas, arenas y gravas de texturas finas a gruesas. (Duarte, 2018)

Pero toda minería trae efectos negativos y esta no es la excepción, esta minería de arcilla trae consigo la contaminación por mercurio, cianuro, etc., eliminación directa de relaves y efluentes en los ríos, peligros derivados de balsas de residuos mal construidas, daños por erosión y deforestación (además de la destrucción del paisaje).

Lo que buscamos con este proyecto es que si al utilizar estas especies nos ayudara a servir como indicadores de la recuperación de los suelos disturbados por minería de arcilla a largo plazo utilizando gramíneas (Maíz, pasto estrella y pasto brachiaria), y leguminosas (Acacia riparia kunth y Yaguaro) empleando heno en forma de enmienda con cascarilla de arroz y lombricompost.

Formulación de problema

¿Será eficaz la utilización de las especies (gramíneas y leguminosas – (fabáceas) en suelos disturbados por minería de arcilla en la mina “El Cielo” corregimiento de Valencia de Jesús – Cesar?



2. JUSTIFICACIÓN

Debido a las consecuencias que puede generar la contaminación de los suelos por la minería tanto en el medio ambiente como en la salud humana, es importante implementar medidas para la recuperación de los suelos contaminados, ayudando así a disminuir los efectos que este tipo de contaminación puede causar.

La presente investigación se centra en la implementación de especies (gramíneas y leguminosas – (fabáceas) para evaluar la eficiencia de las mismas en la recuperación de suelos deteriorados. A la hora de abordar el estudio de la contaminación de un suelo no basta solo con detectar la presencia de los contaminantes, sino que, también es importantes saber, cual es la cantidad máxima permitida en el suelo sin que estos produzcan efectos dañinos que puedan contrarrestar las condiciones normales del suelo.

Es importante recuperar la funcionalidad perdida del suelo, porque así podemos darle uso a futuro, al resolver esta problemática podremos utilizar el suelo para otras actividades menos extractivas como lo son la minería, sino en actividades como la agricultura, la ganadería entre otras, además mejoraríamos la calidad de vida de muchas personas que viven alrededor de este sitio.

Este proyecto de investigación es muy rentable porque nos ayudan a rehabilitar las zonas afectadas por dichas actividades y así cambiaríamos las condiciones iniciales con las que está el suelo, mitigando el impacto y generando nuevas alternativas y usos del suelo.



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la eficiencia del uso de especies como (Gramíneas y Leguminosas, - (Fabáceas) en suelos disturbados por minería de arcilla en la mina “el cielo” corregimiento de valencia de Jesús-cesar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo afectado por la actividad minera.
- Analizar la interacción de los suelos contaminados por minería de arcilla mediante la aplicación de gramíneas (Maíz, Pasto estrella y Pasto brachiaria) y la siembra de la especie arbustiva (Yaguaro y Acacia riparia kunth) cubiertos con heno en forma de enmienda compuesto por lombricompost y cascarilla de arroz.
- Evaluar la eficiencia de la interacción de las especies en la recuperación del suelo contaminado por minería.



4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

Hernández Eber, (2017). En su investigación titulada DINÁMICA DE NUTRIENTES EN LA HOJARASCA FOLIAR DE LAS ESPECIES *Mimosa arenosa* y *Caesalpinia mollis* (FABACEAE), UTILIZADAS EN PLANES DE REHABILITACIÓN EN LA MINA DEL CERREJÓN, LA GUAJIRA, COLOMBIA. En este estudio se evaluó el aporte de materiales orgánicos y el retorno potencial de nutrientes a través de la hojarasca foliar de las especies *Mimosa arenosa* y *Caesalpinia mollis*, además de evaluar el uso eficiente de nutrientes mediante el índice de vitousek y la reabsorción de nutrientes en estas especies que son utilizadas en la rehabilitación de suelos por minería de carbón en El Cerrejón, departamento de la guajira, Colombia. En cada área se instalaron cuatro parcelas con diez trampas de recolección de hojarasca. La especie *C. mollis* registró un aporte anual de 46–155 kg_{ha}⁻¹, mientras que *M. arenosa* fue de 210-976 kg_{ha}⁻¹. El Nitrógeno fue el elemento de mayor retorno, mientras que el Fósforo y el Potasio fueron los elementos que mostraron las mayores eficiencias en su uso para ambas especies y en la Reabsorción de nutrientes.

Falcon Estrella, Johana Vanessa, (2016). En la presente investigación titulada FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELO CONTAMINADO CON *ZEAMAYS L.* EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL EL MANTARO – JUNÍN. Se utilizó la tecnología de Fitoextracción, que consistió en la absorción de metales pesados por la planta de *Zea mays L.* La acumulación en las raíces, tallos, hojas, flores, envoltura y semillas, fueron óptimas en la descontaminación de metales pesados que se encontraban en el suelo. Se trabajó con muestras de tres lotes de terreno, denominados A, B y C, con una extensión de 125 m², cada uno respectivamente. Las semillas del *Zea mays L.* Se instalaron 2 semillas por golpe en el suelo, a 60 cm de distancia entre planta y planta y con una profundidad de 20 cm.

R Munive, O Figueroa, A Leyton, G Sánchez. (2018). En su investigación titulada FITORREMIEDIACIÓN CON MAÍZ (*ZEAMAYS L.*) Y COMPOST DE STEVIA EN SUELOS DEGRADADOS POR CONTAMINACIÓN CON METALES PESADOS. Se realizó el presente trabajo utilizando maíz como planta fitorremediadora. Los resultados indican que los suelos de la localidad de Muqui, contienen la mayor cantidad de Pb y Cd, presentando efectos negativos como un menor rendimiento de materia seca de hojas, tallos y

raíces del maíz, además, de un desarrollo más lento. La planta de maíz absorbe los metales pesados del suelo como lo demuestra la mayor acumulación de plomo y cadmio en la raíz de ésta, confirmando que la aplicación de las enmiendas orgánicas contribuye a solubilizar el Pb y Cd del suelo.

Grandez M. (2017). En su investigación titulada **REMOCIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS A ORILLAS DEL RÍO MANTARO, JUNÍN, MEDIANTE FITORREMEDIACIÓN CON GIRASOL (HELIANTHUS ANNUS) Y MAÍZ (ZEA MAYS) USANDO ENMIENDAS**. Se evaluó mediante tratamientos, la optimización de la Fitoextracción de metales pesados mediante *Helianthus annus L.* y *Zea Mays*, especies bioacumuladoras de metales pesados, mediante la adición de enmiendas al suelo contaminado, para la fitoextracción de plomo y cadmio. Dando de esta manera una solución confiable y de menor costo, comparada con otros tratamientos, al problema de suelos contaminados por metales pesados en áreas de cultivo agrícola. Así mismo, se tiene conocimiento de estudios previos usando las 2 especies mencionadas en el presente trabajo, lo cual nos indica que *Helianthus annus L.*, tiene más probabilidad de absorber más plomo que cadmio y de igual manera el *Zea mays* tiene más oportunidad de absorber cadmio, teniendo en cuenta que se usaron enmiendas, que en este caso fueron humus y compost, para un óptimo desarrollo de las especies usadas en el presente trabajo, dando de esta manera las condiciones para el óptimo desarrollo de cada especie cultivada.

Pastor J, Gutiérrez M, Hernández A. (2012). Su estudio titulado **RESPUESTA DEL MAÍZ (ZEA MAYS) EN SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS DESPUÉS DE CRECER UNA COMUNIDAD DE PASTO**. Trata de conocer la respuesta del maíz a este tipo de situaciones, mediante un bioensayo realizado en mesocosmos en condiciones controladas durante 3 meses, con suelos procedentes del tipo de sistemas aludidos. El maíz fue sembrado después de dos años en que se cosecharon a ras del suelo las plantas de pasto existentes en el banco de semillas de los mesocosmos utilizados. Los resultados obtenidos del análisis químico de parte aérea y radicular de plantas de maíz crecidas en un total de 30 suelos con más de un metal pesado por encima de los niveles admitidos, y con 3 réplicas de cada uno de ellos, muestran la capacidad de extracción que el maíz tiene de los metales todavía presentes en los mismos.

Reales J & Rones G, (2019). Su investigación titulada POTENCIALIDAD DE Acacia riparia Kunth COMO ESPECIE FORRAJERA EN LA REGIÓN NORORIENTAL DEL CESAR, COLOMBIA. El objetivo del estudio fue evaluar el potencial de esta especie como planta forrajera en la zona. Las características nutricionales de las hojas de la especie fueron determinadas mediante análisis bromatológico y de digestibilidad in vitro. Esta especie contiene un 22,6 % de proteína y una digestibilidad in vitro del 50,8 %. El índice de importancia ecológica y las características nutricionales de esta especie la hacen un forraje potencial para la alimentación de rumiantes. El estudio demostró la presencia de leguminosas forrajeras, donde la Acacia riparia fue una de las tres especies más representativas de la zona, con un índice de importancia ecológica relativamente significativo



4.2 MARCO TEORICO

4.2.1 Suelo

Según RD 5/2009 se entiende como suelo a la capa superior de la corteza terrestre situada entre la zona rocosa y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, aire y agua, lo que le concede la capacidad de desarrollar tanto funciones naturales como de uso.

4.2.1.1 Características físicas del suelo.

El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La adecuada relación entre estos componentes determina la capacidad de hacer crecer las plantas y la disponibilidad de suficientes nutrientes para ellas. La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, densidad, color, porosidad, estructura. (FAO, 2006)

- **Textura:** La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades.
- **Densidad:** Mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2,65. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas.
- **Color:** El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertas propiedades del suelo. Se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato.
- **Porosidad:** El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso.

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y microporos donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micros poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas.

- **Estructura:** Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño nombrados por peds. 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.

4.2.1.2 Características químicas del suelo.

Las propiedades químicas se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas, entre ellas, cabe resaltar: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y P, N y, K extractables. (Bautista et al., 2004).

Según Ramírez, 1997, dentro de todos los procesos que se dan en el suelo el más importante es el intercambio iónico junto con la fotosíntesis son los dos procesos de mayor importancia para las plantas, el cambio iónico es debido casi en su totalidad a la fracción arcilla y a la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico se define como el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/ 100g de suelo.

- **pH:** Es una de las propiedades fisicoquímicas más importante en los suelos, ya que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos, los cuales mineralizan la materia orgánica. También determina la concentración de iones tóxicos, la CIC y diversas propiedades importantes que en últimas apuntan a la fertilidad del suelo.
- **Materia orgánica:** Son los residuos de plantas y animales descompuestos, da al suelo algunos alimentos que las plantas necesitan para su crecimiento y producción, mejora las condiciones del suelo para un buen desarrollo de los cultivos. De la materia orgánica depende la buena constitución de los suelos un suelo de consistencia demasiada suelta (Suelo arenoso) se puede mejorar haciendo aplicaciones de materia orgánica (Compost), así mismo un suelo demasiado pesado (suelo arcilloso) se mejora haciéndolo más suave y liviano mediante aplicación de materia orgánica.

- **Fosforo (P):** Ayuda al buen crecimiento de las plantas, forma raíces fuertes y abundantes, contribuye a la formación y maduración de los frutos y es indispensable en la formación de semillas.
- **Nitrógeno (N):** Ayuda al desarrollo de las plantas, da al follaje un color verde, ayuda a que se introduzcan buenas cosechas y es el elemento químico principal para la formación de las proteínas.
- **Potasio (K):** Ayuda al desarrollo de las plantas, da al follaje un color verde, ayuda a que se introduzcan buenas cosechas y es el elemento químico principal para la formación de las proteínas.
- **Calcio (Ca):** Ayuda al crecimiento de la raíz y el tallo de la planta y permite que la planta tome fácilmente los alimentos del suelo.
- **Magnesio (Mg):** Ayuda a la formación de aceites y grasas y Es el elemento principal en la formación de clorofila, sin la cual la planta no puede formar azúcares.

4.2.1.3 Características biológicas del suelo.

La biología del suelo es la ciencia que se ocupa del estudio de los organismos que de una u otra forma actúan sobre el suelo modificando su composición, su estructura y su funcionamiento. Los microorganismos del suelo se clasifican según su tamaño:

- **Macrofauna:** son organismos mayores a 1 cm de diámetro. Es decir, se pueden observar a simple vista y efectúan sobre el suelo cambios físicos y, en algunos casos, cambios químicos. Pueden ser: vertebrados, organismos que tienen relación directa con el suelo y que son de vida silvestre. Invertebrados, dentro de los cuales están moluscos como el caracol y las babosas, anélidos como la lombriz de tierra, onicóforos como la oruga, artrópodos como los crustáceos, insectos y milipodos.
- **Mesofauna:** son aquellos con diámetros que están entre doscientas micras y 1 cm, Se encargan de producir en el suelo cambios físicos y químicos, En la mesofauna, los de mayor importancia son los nematodos.
- **Microfauna:** Son los responsables de las transformaciones químicas correspondientes a los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica. tienen un diámetro entre 20 y 200 micras, los de mayor importancia son los protistas. Las bacterias son los microorganismos más prolíferos en el suelo y los más importantes para transformar químicamente diferentes compuestos a formas asimilables por las

plantas. En su mayoría son heterótrofas y saprofitas (descomponen compuestos) y algunas son autotróficas (fabrican su propio alimento). fue una contribución de (Ramírez, 1997)

4.2.1.4 Tipos de suelos

Existen varios sistemas de clasificación de suelos (Clasificación de Kubiena, francesa, Soil taxonomy-USDA, WRB-FAO/UNESCO), pero recientemente, en el 2006 la FAO, el ISRIC/World Soil Information y la International Union of Soil Sciences desarrollaron una nueva versión de la Base de Referencia para los Suelos del Mundo (WBR). Actualmente, es el sistema oficial de clasificación de suelos en la Unión Europea y establece los siguientes tipos de suelos:

Suelos orgánicos

- **Histosoles:** constituidos por restos vegetales poco o nada descompuestos, con o sin mezcla de arena, limo o arcilla, en condiciones de exceso de agua. Típicamente aparecen en las turbas o turberas.

Suelos condicionados por influencias antrópicas

- **Antrosoles:** formados por movilizaciones de tierras, acumulación de escombros, lodos residuales o aportes de estiércol o con uso agrícola.
- **Tecnoles:** suelos desarrollados sobre residuos de fabricación, construcción o minería.

Suelos de baja evolución muy condicionados por el clima

- **Criosoles:** se encuentran permanentemente congelados (permafrost).

Suelos condicionados por la topografía y por el agua

- **Leptosoles:** son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente graviliosos y/o pedregosos (litosoles).
- **Regosoles:** son suelos minerales muy débilmente desarrollados.
- **Fluvisoles:** se localizan cerca de los ríos y presentan un perfil estratificado donde la cantidad de materia orgánica decrece irregularmente o es abundante en zonas muy profundas.
- **Gleysoles:** suelos con agua de forma permanente (o casi) en los primeros 50 cm. Hay reducción de los óxidos de hierro y pueden tener colores rojizos, parduzcos o amarillentos o también grisáceos/azulados.

4.2.1.5 Contaminación de suelos

La contaminación del suelo se puede definir como los cambios que alteran la composición de la superficie terrestre o suelo de forma que se ve perjudicado. Así, la contaminación de la tierra la empobrece, incluso provoca que pierda toda su fertilidad y que sea imposible que crezca vegetación en él y lo habiten distintos tipos de seres vivos. Por tanto, la contaminación de la tierra comporta que haya resultados perjudiciales que ponen en peligro a los ecosistemas y la salud de quienes los habitan. Además, existen diversos tipos y ejemplos de contaminación del suelo. Estos son los principales tipos de contaminación del suelo: (Juste, 2019)

- **Contaminación endógena o natural:** Trata de la que ocurre cuando hay fenómenos naturales que arrastran y filtran en la tierra elementos químicos naturales, pero en concentraciones muy elevadas para que ese suelo siga saludable y fértil. Por ejemplo, encontramos lluvias ácidas o que arrastran materiales pesados, como los metales pesados, y las erupciones volcánicas o los incendios, que emiten altas concentraciones de gases perjudiciales y de azufres.
- **Contaminación antrópica, exógena o por el ser humano:** Es el tipo de contaminación que producimos los humanos, es decir que se da cuando a través de las actividades humanas introducimos agentes contaminantes en la naturaleza. Se da en el caso de la contaminación vehicular o producida por los coches, en el caso de las fábricas e industrias, el uso de aire acondicionado y calefacción, la explotación indebida de los recursos naturales, etcétera.
- **Contaminación por sustancias químicas:** Forma parte de la contaminación antrópica, ya que esta se presenta cuando productos químicos sintéticos son introducidos en el medio ambiente. Es el caso de los pesticidas y plaguicidas, los hidrocarburos y los solventes. Estas sustancias afectan negativamente a todo el medio ambiente, por lo que contaminan el suelo, pero también el aire y el agua y favorecen el desequilibrio ecológico del área.
- **Contaminación por escorrentía:** La contaminación por escorrentía se da debido al arrastre por la tierra de ciertos agentes contaminantes, como fertilizantes, plaguicidas, petróleo, etc. Esto se debe al agua de la nieve y las lluvias que se filtra en el suelo y lo erosiona y contamina con dichos agentes. (Juste, 2019)

4.2.2 ¿Qué es la minería?

La minería o actividad minera es una actividad económica, perteneciente al sector primario, que consiste en la extracción de minerales y elementos comercializables del interior de la corteza terrestre. Estos materiales se hallan formando depósitos o yacimientos de miles de años de antigüedad geológica, que sirve de materia prima en la elaboración de los más diversos objetos y maquinarias.

Existen diversas formas de minería dependiendo del lugar, del elemento a minar y de las condiciones en que se desea extraerlo. Algunas de ellas tienen consecuencias ambientales graves. Al sitio en donde se extraen los elementos se le conoce como mina, y quienes se dedican a esta actividad como mineros. (Uriarte, 2020)

4.2.2.1 Minería de arcilla.

La arcilla es un silicato de aluminio hidratado, en forma de roca plástica, frágil en seco y con gran capacidad de absorción; impermeable al agua y bajo la acción del calor se deshidrata endureciéndose mucho. (JM Domínguez, I Schifter, 1992)

La minería de arcilla es una actividad minera a cielo abierto, utilizando procesos de maduración, tratamiento mecánico previo, depósito de materia prima procesada, humidificación, moldeado, secado, cocción y almacenaje para la obtención de materiales para la industria de la construcción. Para desarrollar este proceso se utiliza una cantidad de material particulado y se genera un nivel alto de contaminación en el aire. La responsabilidad ambiental es un tema importante que no se debe dejar a un lado, ya que los seres vivos dependen del entorno natural (Hurtado, 2010)

Según Cervantes (2017), para lograr un equilibrio entre medio ambiente y minería de arcilla es necesario aprovechar los recursos naturales, desarrollando medidas de mitigación que disminuyan los daños, además de conocer como tal qué recursos se usan para el desarrollo de la actividad y si pueden afectar o no el bienestar de la sociedad. Debido a esto, en el avance y la influencia de la minería radica la evolución y desarrollo tecnológico de las sociedades, por este y otros beneficios es de vital importancia realizarla de manera correcta y responsable, tanto para el entorno social como ambiental que rodea este tipo de acciones, pero de igual manera es urgente que como sociedad se instruya acerca de los impactos negativos que ésta produce.

4.2.3 ¿Qué son las gramíneas?

Su nombre científico es Poaceae, aunque son mucho más conocidas por su nombre común: gramíneas. Se trata de una gran familia de plantas con más de 12.000 especies, la inmensa mayoría de ellas herbáceas, y son la familia de plantas más importante a nivel económico en todo el mundo. (Acosta, 2021)

4.2.3.1 Maíz (Zea Mays).

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia de las gramíneas, tribu maideas, y se cree que se originó en los trópicos de América Latina, especialmente los géneros *Zea*, *Tripsacum* y *Euchlaena*, cuya importancia reside en su relación fitogenética con el género *Zea*. (Delgado, 2019)

4.2.3.2 Pasto Estrella

El *Cynodon plectostachyus* o estrella es un pasto muy común en las ganaderías colombianas por su facilidad de adaptación en los suelos, así como por su capacidad de drenaje. El pasto estrella es oriundo de Rhodesia en África Oriental, pero se ha adaptado muy bien a las condiciones del suelo y del clima de Colombia. Su aporte nutricional, su adaptabilidad y la cobertura son una de las ventajas que obtienen los productores que hacen uso de esta gramínea en sus fincas. (Contexto ganadero, 2019). Es un pasto rastrero bastante agresivo e invasor, que tiene como gran característica el tolerar la humedad, pero no con suelos que tengan lámina de agua. Además, una de las fortalezas es que también puede soportar la sequía. Este tipo de pasto es adecuado para las regiones de Colombia donde no se presenten largas temporadas de invierno, pues no resiste las grandes cantidades de agua. (Mejía, 2019)

4.2.3.3 Pasto Brachiaria

Brachiaria es un género de plantas herbáceas que pertenecen a la familia de la Poáceas. Se cree que son originarias del norte de África y del Mediterráneo. Las especies pertenecientes a este género son gramíneas anuales o perennes, de porte erecto, decumbentes, esparcidas o estoloníferas. Los tallos o culmos a menudo son enraizados en los nudos inferiores, y en las de tipo perenne por lo general emergen de una base algo rizomático-anudada. El haz es plana, lineal o lineal lanceolada. Puede ser glabra o pilosa, con vainas foliares cercanas y sobrepuestas. La lígula se presenta como una membrana estrecha que puede ser vellosa o membranacea con borde ciliado. La inflorescencia se puede presentar como panícula racemosa

cuyos raquis se observan de modo solitario o distribuidos de una forma más o menos piramidal a lo largo de un eje común. (Finkeros, 2013)

4.2.4 ¿Qué es una fabácea?

Las fabáceas (Fabaceae) o leguminosas (Leguminosae) son una familia del orden de las fabales. Reúne árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales, fácilmente reconocibles por su fruto tipo legumbre y sus hojas compuestas y estipuladas. Es una familia de distribución cosmopolita con aproximadamente setecientos treinta géneros y unas diecinueve mil cuatrocientas especies, lo que la convierte en la tercera familia con mayor riqueza de especies después de las compuestas (Asteraceae) y las orquídeas (Orchidaceae). Las especies de esta familia presentan la propiedad de enriquecer o incrementar la fertilidad de los suelos, por medio del mecanismo de fijación de nitrógeno ambiental por quimiosíntesis a moléculas orgánicas, a través de un proceso simbiótico con bacterias fijadoras de N del género *Rhizobium*, donde la planta provee el nicho ecológico y la fuente de carbono, principalmente. La actividad de fijación de N de estas plantas sigue un patrón más o menos constante, caracterizándose por una etapa inicial de fijación creciente, con nódulos aumentando en número y tamaño hasta media floración, para posteriormente iniciar una etapa donde ocurren cambios degenerativos en la población de nódulos, declinando la actividad de fijación. Son plantas moderadamente tolerantes a acidez y poco tolerantes a la salinidad del suelo. (Mendoza, 2013)

4.2.4.1 Planta de Yaguaró (*Caesalpinia mollis*).

Son árboles, arbustos, o trepadoras altas, inermes o aculeados, frecuentemente setosos. Hojas pinnadas; folíolos pequeños y numerosos o grandes y pocos, herbáceos o coriáceos. Inflorescencias racimos laxos y axilares o panículas terminales; cáliz cortamente campanulado, lobos 5, los inferiores externos cuando en yema y frecuentemente más grandes, cóncavos o cimbiformes; pétalos 5, orbicular-oblongos, generalmente con la uña larga, subiguales o el superior más pequeño, amarillos, rojos o variegados; estambres 10, libres, declinados, los filamentos generalmente vellosos o glandulares en la base; ovario libre del cáliz. Fruto una legumbre variable, 2-valvada o indehiscente, ovada, lanceolada, linear o falcada, comprimida o hinchada, aculeada, pubescente o glandulosa, o plana y glabra, rostrada, frecuentemente rellena entre las semillas, las suturas engrosadas; semillas 1–8, transversales, ovadas, orbiculares o globosas, la testa coriácea. (Padilla, 2010)

4.2.4.2 Acacia Riparia Kunth

Arbusto de 4-6 m de altura. Ramitas cilíndricas o subanguladas, con espinas pequeñas (1- 3 mm de longitud), dispersas y en forma de gancho; estípulas deciduas. Hojas bipinnadas, alternas, con 8-16 pares de pinnas, folíolos 20-60 pares por pinna, de 4-8 por 1-2 mm, lineares. Inflorescencia en capítulos dispuestos en panículas terminales; las flores blancas muy pequeñas. Frutos legumbres aplanadas y lineares, de 10-15 por 1-2,5 cm, pardo-tomentosos y sedosos (Zamora et al. 2000).



4.3 MARCO CONCEPTUAL

Acacia Riparia K: Bejuco leñoso, con espinas pequeñas en todas las ramas y tallos. (Zamora, 1991)

Arcilla: Tierra constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados; es de color blanco en estado puro, y mezclada con el agua forma una materia muy plástica que se endurece al cocinarla. (Villa,2017)

Contaminación del medio: presencia de algún constituyente causado por la actividad humana, en la concentración tal que afecte negativamente a su funcionamiento y a los organismos vivo presentes en el. (Duarte,2016)

Clima: Conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar, constituido por la cantidad y frecuencia de lluvias, la humedad, la temperatura, los vientos, etc. (Oxford Dictionary)

Características: Cualidad o circunstancia que es propia o peculiar de una persona o una cosa y por la cual se define o se distingue de otras de su misma especie. (Guerra, 2016)

Contaminación de suelos: La contaminación del suelo se puede definir como los cambios que alteran la composición de la superficie terrestre. (Juste, 2019)

Especie arbustiva: planta leñosa de cierto porte cuando, a diferencia de los árboles, no se yergue sobre un solo tronco o fuste, sino que se ramifica desde la misma base. (Guille, 2016)

Fabácea: Reúne árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales, fácilmente reconocibles por su fruto tipo legumbre y sus hojas compuestas y estipuladas. (Galé, Ortega y Martínez, 2017)

Gramíneas: son plantas herbáceas (y algunas leñosas) que pertenecen al orden de las monocotiledóneas. (ASOCAE, 2019)

Maíz: es un cereal, una planta gramínea americana, que se caracteriza por tener tallos largos y macizos. (Uriarte,2020)

Minería: Actividad de explotar las minas, extraer minerales. (Barro,2016)

Leguminosa: es cualquier planta que mantiene la semilla dentro de las vainas. (Ryenoso, 2019.)

pH: es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones.

Recuperación: La palabra recuperación proviene etimológicamente del vocablo latino “recuperatio” que hace alusión a la acción de recuperar, o sea volver a tener lo que se perdió. (Dorado, 2017)

Suelo: se denomina suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él. (García, Inga y yackley, 2017)

Textura: indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. (Morell, 2015)

Temperatura: Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera. (Oxford Dictionary)

Yaguaro: es un árbol arbustivo de la familia leguminosa (Fabaceae) de climas tropicales y subtropicales. (Carretero,2004)



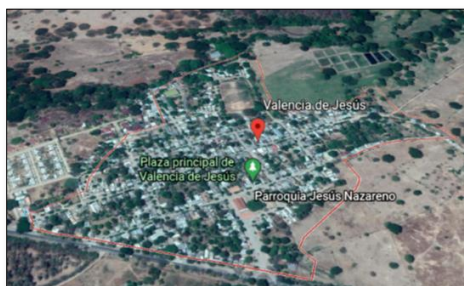
4.4 MARCO CONTEXTUAL

LOCALIZACIÓN DEL CORREGIMIENTO DE VALENCIA DE JESUS-CESAR

Valencia de Jesús es uno de los 26 corregimientos del municipio colombiano de Valledupar, ubicado en su zona suroccidental, entre las estribaciones de las montañas de la Sierra Nevada de Santa Marta y el río Cesar, en el departamento del Cesar. Limita hacia el norte con el corregimiento de Azúcar Buena; hacia el occidente con la zona rural de la ciudad de Valledupar. Al sur limita con el municipio de San Diego y al occidente con el corregimiento de Aguas Blancas. (Viloria,2005)

Imagen 1.

Localización geográfica corregimiento Valencia de Jesús



Nota: Ubicación específica del sitio de estudio. Tomado de Google Earth (autores, 2022)

LOCALIZACIÓN DE LA MINA EL CIELO CORREGIMIENTO DE VALENCIA DE JESUS-CESAR.

La mina el cielo, se encuentra ubicada a 15km de la capital del departamento del cesar en la vía que conduce desde Valledupar hacia Bosconia, en ese punto sobre la margen izquierda se toma un carretable de aproximadamente 1,5Km que conduce hasta la vereda. La mina es jurisdicción del corregimiento de valencia de Jesús-cesar posee 55 Ha, las coordenadas geográficas son: 10° 19'52,53" Latitud norte y 73° 20'7,95" Longitud oeste y presenta una elevación de 11msnm (Google Earth,2021)

Imagen 2.

Acceso al título Vereda El Cielo



Imagen 3.

Localización de la Cantera el Cielo



Nota: Polígono Título Minero 0164-20. Tomado de Catastro Minero Colombiano –CMC-. Agencia Nacional de Minería 2017.

El polígono se localiza en las coordenadas que se muestran en la tabla

Tabla 1.

Coordenadas polígono de Título Minero 0164-20

PUNTO	NORTE	ESTE
1	1634500	1081500
2	1634500	1082000
3	1633400	1082000
4	1633400	1081500

Nota: Tomado de Expediente minero, Agencia Nacional de Minería PTO

Clima: Presenta un clima cálido o clima caluroso y apenas hasta moderado precipitación. la temperatura promedio de la zona es 37°C. La estación meteorológica ubicada más cercana a la mina el cielo muestra que los meses en donde se presenta mayor humedad son septiembre, octubre, noviembre y los meses de menor húmedas son enero, febrero y marzo.

Vegetación: El valle del río Cesar es clasificado como Bosque Seco Tropical, está cubierto por un bosque claro muy intervenido donde se alternan árboles dispersos y pastos artificiales para el sostenimiento de la importante cabaña bovina existente en sus campos. El árbol más común es el mango seguido de cañahuate, ceibas, robles, totumos, acacias, mamones, cotoprix, uvitos, cardamomos y un importante corredor vial de cauchos (Duarte,2018)

Economía: En esta zona del departamento del cesar se realizan actividades como la agricultura y la ganadería y la alfarería basada en la confección de ladrillos. Los ladrilleros están agremiados en Coarcillas del Cesar y poseen títulos mineros otorgados por el departamento del Cesar. (Gutiérrez y Plata 2019).

4.5 MARCO LEGAL

Muchas leyes, decretos, resoluciones, hasta la misma constitución política que es el mayor órgano regulador del país son los encargados de reglamentar la forma correcta en la cual el estado y las personas deben comportarse frente a los recursos, además de establecer los alineamientos para el uso, explotación y conservación de los recursos naturales que posee nuestro país.

Tabla 2.

Matriz de identificación de aspectos legales

TEMATICA	ARTICULOS, LEYES, DECRETOS Y RESOLUCIONES	DESCRIPCION
Constitución Política de Colombia- 1991	Articulo 49	Atención de la salud y saneamiento ambiental. Consagra como servicio público la atención a la salud y el saneamiento ambiental y ordena al estado la organización, dirección y reglamentación de los mismos.
	Articulo 79	Ambiente sano. Consagra el derecho de todas las personas residentes en el país de gozar de un ambiente sano.
	Articulo 80	Establece como deber del Estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
Suelo	Ley 09 de 1979	Código sanitario. Por la cual se dictan medidas sanitarias. Establece las normas sanitarias y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar y control de las descargas y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del ambiente.
	Ley 388 de 1997, articulo 33	Ordenamiento territorial, que reglamenta los usos del suelo, constituyen esta categoría los terrenos no aptos para el uso

		urbano, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas. <i>Decreto Nacional 1337 de 2002, el art. 21, Ley 1469 de 2011.</i>
Minería	Ley 141 de 1994	Crea el Fondo Nacional de regalías, Comisión nacional de Regalías y regula el derecho del estado a percibir regalías por la explotación de los recursos naturales no renovables.
	Ley 685 de 2001	Código de minas. Reglamenta todo tipo de explotación minera del subsuelo, está excluido, de este el petróleo y sus derivados.
	Decreto 2636/1994	Legaliza las explotaciones de hecho de la pequeña minería.
	Decreto 501/1995	Reglamenta la inscripción en el registro minero de los títulos para la exploración y explotación de minerales de propiedad nacional.
	Decreto 1481/1996	Establece la obtención de la licencia ambiental para la inscripción de los aportes en el registro minero nacional.
Biodiversidad	Ley 1333 de 2009	Por el cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.
	Decreto 1791 de 1996	Por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal.
	Decreto 2370 de 2009	Por el cual se determinan los instrumentos de planificación para institutos de investigación vinculados y adscritos al ministerio del Medio Ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Nota: Esta tabla muestra algunos aspectos legales. *Tomado de: Principales normas ambientales colombianas, Pizano, Gaviria, Martínez, Rosa. El ministro del medio ambiente, 2020*

5. MARCO METODOLOGICO

5.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto se apoya en la línea de investigación sostenibilidad adscrita al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Universidad Popular del Cesar, además el proyecto se ubica en la sub-línea de investigación de suelos, ya que dentro de este proyecto se trabajó en el procedimiento de recuperación de un suelo contaminado por minería aplicando biorremediación y sus formas o estrategias que se puedan implementar para así mejorar las condiciones o propiedades físico-químicas del suelo en estudio.

5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se estableció el tipo de investigación descriptivo ya que se pretendía examinar o describir las cualidades de un fenómeno para la recuperación de un suelo contaminado por explotación minera al que luego se le aplicó un análisis en el laboratorio, además también tuvo un enfoque correlacional porque nos permitió evaluar la relación que existe entre dos o más variables, ya que dividimos el terreno en tramos para evaluar la eficiencia de las especies.

5.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De campo y longitudinal. Este proyecto constó con dos niveles de investigación, en primera instancia con un nivel de campo que nos permitió realizar las lecturas e investigaciones necesarias con el fin de recolectar insumos para comparar nuestros datos con los de estas investigaciones realizadas anteriormente, esto nos permitió tener un panorama más claro con respecto a la recuperación de los suelos, y en una segunda instancia tuvo un nivel longitudinal entendiendo que la evaluación de la eficiencia de las especies para recuperación de los suelos se realiza en distintas etapas y en determinados periodos de tiempo y que estas deben ser observadas para poder recolectar datos íntegros y completos.

5.4 POBLACIÓN

Nuestra investigación se realizó en los suelos de la mina “El cielo” del corregimiento de Valencia de Jesús del departamento de Cesar, más específicamente en la granja piloto de la Universidad Popular del Cesar, a través de análisis de campo y pruebas de laboratorio.

5.5 MUESTRA

Cuatro parcelamientos de $1,5m^2$ de $1,5 \times 1$ m cada uno, de los suelos que se encuentran en la mina “El Cielo” en el corregimiento de Valencia de Jesús – Cesar.

5.6 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Los datos se tomaron directamente de los suelos mineros de la mina El Cielo y de los distintos ensayos.

5.7 DESARROLLO METODOLOGICO

La metodología para el desarrollo y cumplimiento del proyecto de investigación se ejecutó de forma sucesiva acorde a la manera en que se encuentran establecidos los objetivos planteados. A continuación, se manifiestan las etapas o fases a realizar.

5.7.1. Etapa 1:

Se identificaron las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo afectado por la actividad minera.

- **Actividad 1.1:** Identificación de los suelos contaminados por la actividad minera.

Descripción: Se realizó basándose en documentales de diversas fuentes que ofrezcan información sobre esta actividad.

- **Actividad 1.2:** Puntos de muestreo

Descripción: Se tomaron las muestras de suelos afectados por la minería en los suelos de la mina el cielo del corregimiento de valencia de Jesús-cesar, a través de un muestreo compuesto.

- **Actividad 1.3:** Caracterización del suelo

Descripción: Se realizaron los análisis físico-químicas y microbiológicas para la muestra de suelos

a) **Pruebas físicas:** Textura, color, retención de humedad, densidad aparente (Ramírez, 1997)

b) **Pruebas químicas:** Carbono orgánico, materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), fosforo, hierro, nitrógeno, micro y macro nutrientes. (Ramírez, 1997)

c) **Pruebas Microbiológicas:** Entidades patógenas y no patógenas identificadas

El estudio de las características físico-químicas se realizará a escala de laboratorio y campo por medio de toma de muestras de calidad de suelo. (IGAC)

Tabla 3.

Técnicas y/o métodos aplicados para el análisis fisicoquímico y microbiológico del suelo

Propiedades	Dimensión	Indicador	Técnica y/o método
Físicas	Textura	%	Método de bouyoucos
	Color	Valor tabla de Munsell	Tabla de Munsell
	Retención de humedad	% de agua retenida	Método gravimétrico
	Densidad aparente	Kg/m ³	Método del cilindro
Químicas	Carbono orgánico	%	$\%C = \frac{\%M.O}{1,724}$
	Materia orgánica	%	Método de Walkley y Black
	pH	[H3O] 1-7 y 7-10	Método potenciométrico
	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Meq/100g	NTC 5268, IGAC 2010
	Conductividad eléctrica (CE)	mS/cm	
	Fosforo	ppm	Método de Bray
	Hierro	Ppm	Método colorimétrico con ortofenantrolina
	Nitrógeno total	%	$\%N\text{-total} = \frac{\%M.O}{20}$
	Potasio	meq/100g	
	Calcio	meq/100g	
	Magnesio	meq/100cc	
	Azufre	ppm	
	Cobre	ppm	
	Zinc	ppm	
Boro	ppm		
Microbiológicas	Entidades patógenas y no patógenas identificadas	UFC/g	Método LBC 195

Nota: Elaborado por autores, (2021)

5.7.2. Etapa 2:

Se analizó la interacción de los suelos contaminados por minería de arcilla mediante la aplicación de gramíneas (Maíz, Pasto estrella y Pasto brachiaria) y la siembra de la especie arbustiva (Yaguaro y Acacia riparia kunth) cubiertos con heno en forma de enmienda compuesto por lombricompost y cascarilla de arroz.

- **Actividad 2.1:** Siembra de la planta de maíz, Yaguaro y la acacia riparia kunth y aplicación de los pastos (Brachiaria y estrella).

Descripción: Debemos tener presente que el maíz necesita bastante luz solar y altas temperaturas. Es muy exigente con el agua, requiriendo de riego diario. Es aconsejable que el riego sea a manta o por aspersión.

- **Actividad 2.2:** Aplicación del heno en forma de enmienda

Descripción: Se introdujo la especie con el fin de que las raíces de los árboles tengan un mejor agarre y le den un aporte de nutrientes al suelo

Tabla 4.

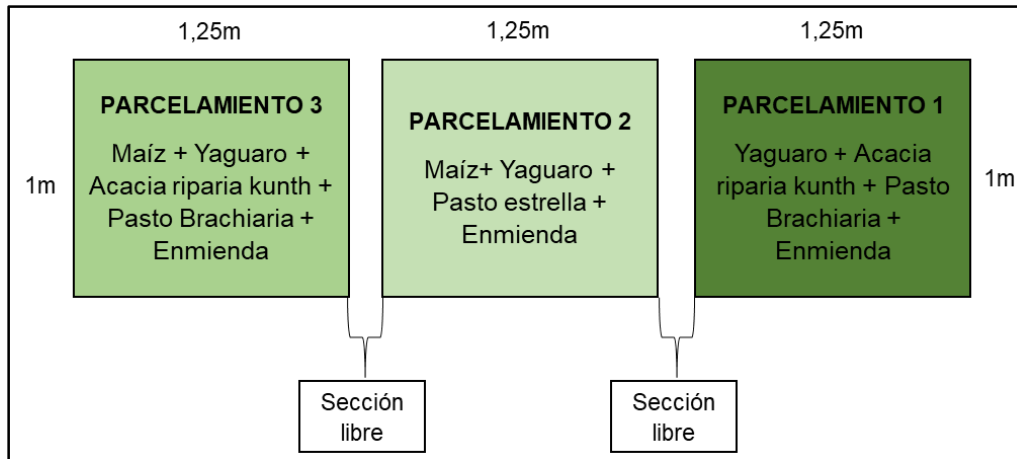
Descripción de las especies aplicadas en el suelo

Parcelamientos	Tratamientos
Parcelamiento 1 1,25m ² de 1,25x1 m	Yaguaro + Acacia riparia kunth + Pasto Brachiaria + Enmienda
Parcelamiento 2 1,25m ² de 1,25x1 m	Maíz + Yaguaro + Pasto estrella + Enmienda
Parcelamiento 3 1,25m ² de 1,25x1 m	Maíz + Yaguaro + Acacia riparia kunth + Pasto Brachiaria + Enmienda
Parcelamiento 4 1,25m ² de 1,25x1 m	Control

Nota: Elaborado por autores, (2021)

Ilustración 1.

Esquema del parcelamiento de la zona



Nota: Elaborado por autores, (2021)

- **Actividad 2.3:** Seguimiento del crecimiento y desarrollo de las especies

Descripción: Se realizó un seguimiento y evaluación del crecimiento de las especies, llevar detalladamente la información del crecimiento de estas plantas y hacer un correcto riego para que sigan cumpliendo su función.

5.7.3. Etapa 3:

Se evaluó la eficiencia de la interacción de las especies en la recuperación del suelo contaminado por minería.

- **Actividad 3.1:** Seguimiento a las especies

Descripción: Se realizaron seguimientos mediante observación directa de manera periódica a cada uno de los parcelamientos transcurrido un tiempo de 18 semanas y se tomaron muestras de suelo para observar la relación e interacción de las especies utilizadas y conocer las nuevas condiciones o parámetros del suelo

- **Actividad 3.2:** Caracterización del suelo

Descripción: Se estudiaron las características físico-químicas y microbiológicas

- **Actividad 3.3:** Comparación de los análisis antes y después de la aplicación de las especies.

Descripción: Se determinó la efectividad de las especies teniendo en cuenta también los factores o condiciones ambientales (luz solar, precipitaciones, etc.) que pudieron influir en la recuperación del suelo.

6. RESULTADOS Y ANALISIS

ETAPA 1: ANALISIS FISICOS, QUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS INICIALES DEL SUELO

Primero se realizó la respectiva visita del lugar donde se iba a llevar a cabo el proyecto de investigación en el cual se pudieron identificar varias áreas que han sido afectadas por la producción minera y que a su vez generan un impacto ambiental considerable en el suelo, luego se hizo la toma de la muestra la cual se realizó el 2 de junio del 2022, eliminando en primera instancia la cobertura o capa vegetal, después se cavó un agujero con una profundidad de 20-30 cm, y se procedió a recolectar la muestra, seguidamente se toma un 1 kilogramo y se coloca en una bolsa plástica rotulada de forma clara para identificar la muestra, y por último se procede a enviar al laboratorio como se puede observar a continuación:

Imagen 4.

Excavación



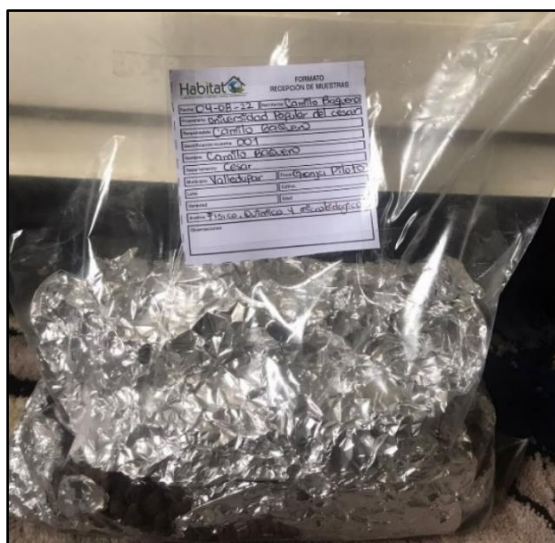
Imagen 5.

Toma de muestra



Imagen 6.

Muestra rotulada



Cabe aclarar que no se hizo la toma de muestra en diferentes puntos del espacio, sino solamente en uno ya que el terreno donde se realizó el proyecto de investigación, era un terreno regular, uniforme, sin pendientes.

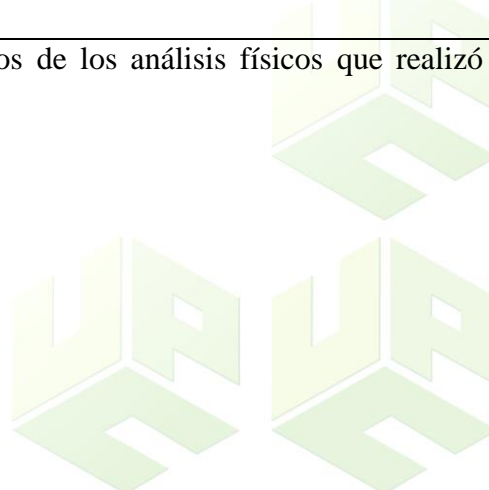
Al obtener los datos de los análisis físico-químicos y microbiológicos del suelo disturbado por minería de arcilla encontramos lo siguiente:

Tabla 5.

Análisis Físicos iniciales

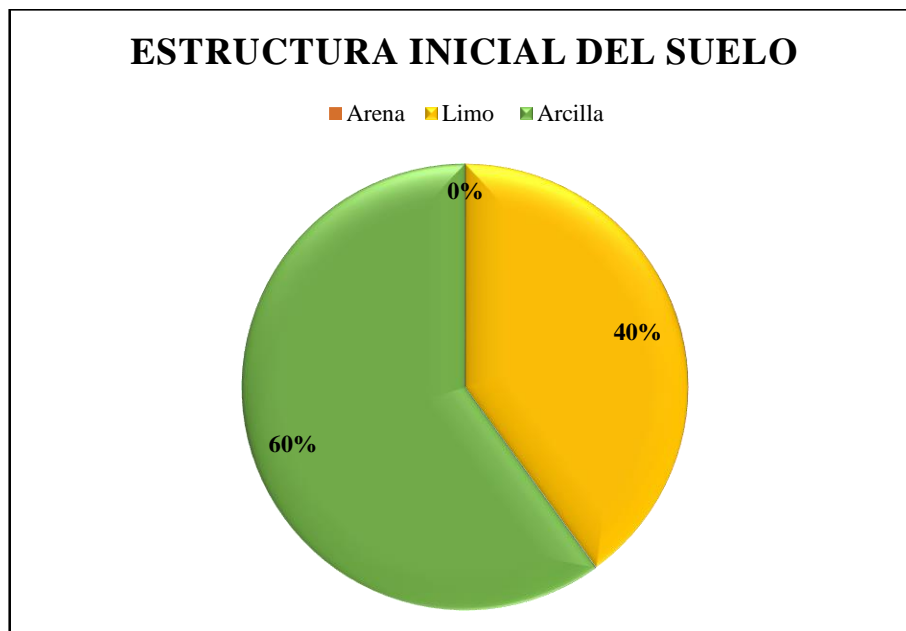
Tipo de muestra	Estructura	Textura	Densidad Aparente g/cc	Humedad %
Suelo	Arena	Arcillo-Limosa	1,20	42
	Limo			
	Arcilla			

Nota: Estos datos fueron obtenidos de los resultados de los análisis físicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.



Gráfica 1.

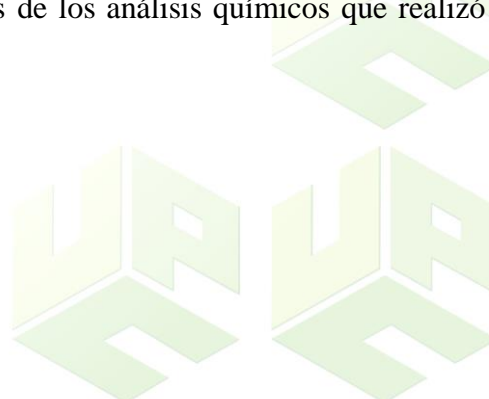
Representación gráfica de la estructura del suelo


Tabla 6.

Análisis químicos iniciales.

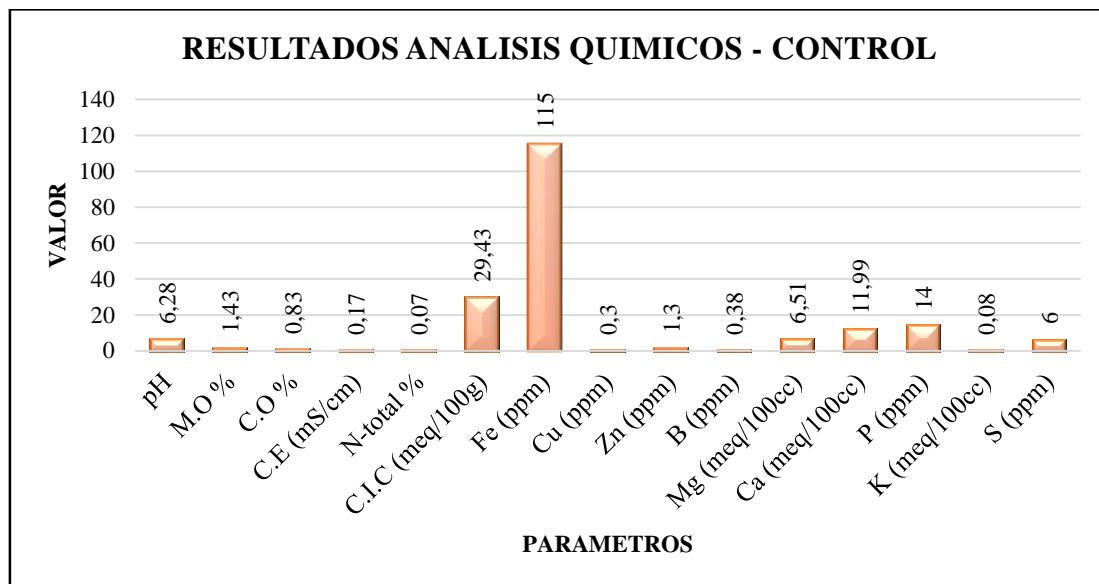
Tipo de muestra	Parámetros				
	pH	M.O %	C.O %	C.E (mS/cm)	N-total %
Suelo	6,28	1,43	0,83	0,17	0,07
	C.I.C (meq/100g)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)
	29,43	115	0,30	1,30	0,38
	Mg (meq/100cc)	Ca (meq/100cc)	P (ppm)	K (meq/100cc)	S (ppm)
	6,51	11,99	14	0,08	6

Nota: Estos datos fueron obtenidos de los resultados de los análisis químicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.



Gráfica 2.

Representación gráfica de los análisis químicos



De estos resultados iniciales físico-químicos podemos llegar a la conclusión que el suelo presenta un pH ligeramente ácido el cual indica condiciones adecuadas para el crecimiento de la mayoría de los cultivos, niveles bajos de materia orgánica reflejando un impacto como la erosión y no favoreciendo la penetración y retención del agua, niveles deficientes de carbono orgánico los cuales se le atribuye a la pérdida de materia orgánica, la liberación del CO₂ y a los procesos de degradación que sufren los suelos en la minería, la conductividad eléctrica del suelo fue baja lo que nos indicó que los suelos no son salinos, lo cual es favorable para la rehabilitación del mismo, niveles altos de magnesio lo que nos lleva a concluir que el suelo inicial (control) no permitiría que las plantas absorbieran otros nutrientes importantes para su crecimiento, niveles medios de calcio, niveles bajos de fósforo, hierro, cobre, zinc, boro, niveles deficientes de potasio, nitrógeno total, azufre, una textura arcillo-limosa lo que demuestra que el suelo tiene más capacidad de retener agua por lo que los cultivos no necesitan ser irrigados con mucha frecuencia, por último la capacidad de intercambio catiónico presentó niveles altos lo que significa que posee altos contenidos de arcilla, al ser alta les brinda mayor capacidad para retener nutrientes, eso normalmente los hace más fértiles.

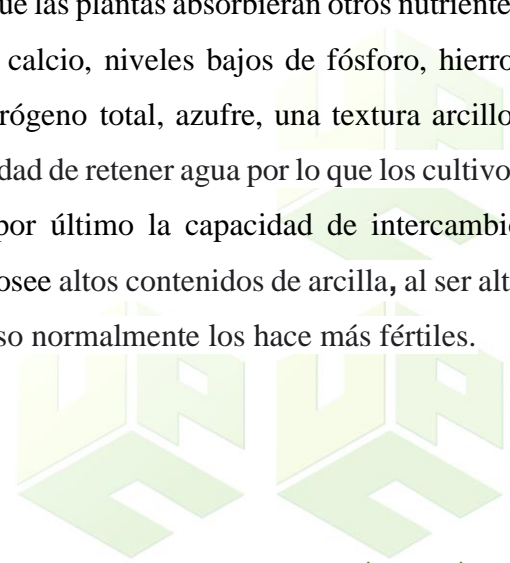


Tabla 7.

Análisis microbiológico inicial del suelo disturbado

No.	Nombre científico	Población
1	Bacterias Mesófilas Aerobias	10 X10E ⁵ UFC/g
2	Pseudomonas sp	13 X10E ³ UFC/g
3	Levaduras	11 X10E ¹ UFC/g
4	Penicillium sp	3 X10E ³ UFC/g
5	Trichoderma sp	2X10E ² UFC/g

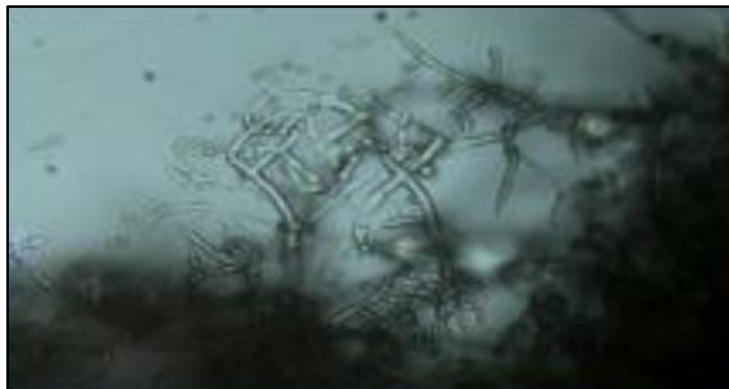
Nota: Estos datos fueron obtenidos de los resultados de los análisis microbiológicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.

Es importante mencionar que los microorganismos (bacterias y hongos) en el suelo cumplen una función importante, puesto a que ellas proporcionan a la planta nutrientes, minerales y fitohormonas que promueven el crecimiento vegetal (instituto de ecología, ciudad de México, Desgarenes y Carrión, 2019). En nuestros análisis de suelos, encontramos diversos microorganismos que cada uno cumple e indican una función específica en el suelo.

Las Bacteria Mesófilas Aerobias, en su recuento encontramos 10 X10E⁵ UFC por gramo de suelo, ellas pueden ser un potencial fijador de nitrógeno en el suelo lo que ayuda a mejorar las condiciones de fertilidad de los mismos, pero a su vez pueden ser grandes absorbedores de magnesio disponible en el suelo, del mismo modo encontramos Pseudomonas sp con una población de 13 X10E³ UFC por gramo de suelo quienes producen un incremento de la disponibilidad de fosforo y nitrógeno en el suelo y además sirven como estimuladoras de la actividad vegetativa, así como la degradación de precursores del etileno, también se detectó la presencia de Levaduras con una población de 11 X10E¹ UFC/g , estas juega un papel importante en la agregación del suelo, ayudando además a llevar a cabo el ciclo de todos los nutrientes que se encuentran disponibles en el suelo, se identificó el microorganismo Penicillium sp en 3 X10E³UFC/g que nos indica que el suelo presenta una alta humedad pero que a su vez una temperatura bastante elevada, por último, encontramos la Trichoderma sp con una población de 2 X10E² UFC/gramo de suelo lo que es una evidencia de que absorbe del suelo nutrientes como carbono orgánico, magnesio y hierro.

Imagen 7.

Trichoderma sp



Nota: Esta imagen fue proporcionada de los resultados de los análisis microbiológicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.

Imagen 8.

Penicillium sp



Nota: Esta imagen fue proporcionada de los resultados de los análisis microbiológicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.



ETAPA 2: APLICACIÓN DE LAS ESPECIES

Dándole cumplimiento a nuestro segundo objetivo específico planteado el cual tiene como finalidad analizar la interacción del suelo contaminado aplicando las diversas especies a utilizar procedimos a limpiar toda el área donde se realizó el procedimiento de la siembra, arrancando toda esa maleza que se encontraba en la superficie del suelo con el fin de dejar un suelo óptimo para iniciar el proceso, se determinaron cuatro parcelas de 1,25x1m como se mencionó anteriormente, en los cuales se plantaron diferentes combinaciones de las especies ya nombradas.

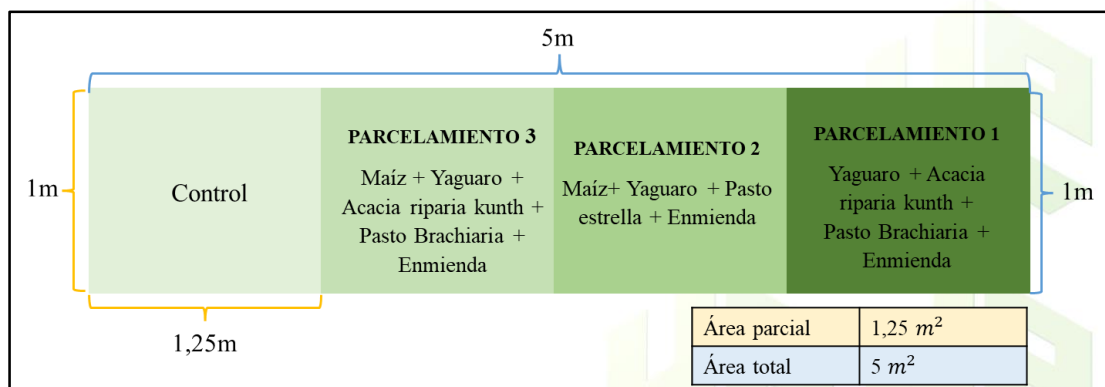
Imagen 9.

Parcelamientos



Ilustración 2.

Parcelamientos demostrativos



En las tres parcelas en cada subdivisión a excepción del parcelamiento de control se realizó aireación mecánica con palín y posteriormente se sometió a humectación como se puede observar en las siguientes imágenes.

Imagen 10.

Aireación del terreno



Imagen 11.

Humectación del terreno



Luego de terminado el proceso de aireación y humectación del terreno procedimos a realizar la siembra de las especies (Maíz, Yaguaro, Acacia, Pasto estrella y Pasto brachiaria) y la

aplicación de la enmienda (Lombricompost, compost y cascarilla de arroz), para aportar al rápido crecimiento de las especies. (Proceso realizado el día 7 junio del presente año)

Tabla 8.

Distribución y aplicación de las especies


Parcelamiento	Especie	Descripción	Cantidad	Aplicación
1	Yaguaro	Especie Arbórea	1 UN	
	Acacia riparia kunth	Especie Arbórea	1 UN	
	Pasto Brachiaria	Semillas	500 gr	
2	Maíz	Semillas	500gr	
	Yaguaro	Especie Arbórea	1 UN	
	Pasto estrella	Semillas	500 gr	
3	Maíz	Semillas	500 gr	
	Yaguaro	Especie Arbórea	1 UN	
	Acacia riparia kunth	Especie Arbórea	1 UN	
	Pasto Brachiaria	Semilla	500 gr	



Imagen 12.

Aplicación de las especies



Imagen 13.

Aplicación en la enmienda



Por consiguiente y con la finalidad de que el crecimiento de las especies fuera más satisfactorio procedimos a realizarle un seguimiento a las especies como bien plasmamos en nuestro cronograma de actividades, realizando el proceso de riego tres veces por semana y dejando evidencia fotográfica de dicho crecimiento cada 15 días en donde logramos notar que el suelo respondió de manera satisfactoria. Además, es importante mencionar que en la región

durante este lapso de 4 meses y 3 días se presentó la época de lluvia lo que favoreció a que las especies crecieran de manera acelerada.

Imagen 14.

15 días post siembra



Imagen 15.

31 días post siembra



Imagen 16.

46 días post siembra



Imagen 17.

63 días post siembra



Imagen 18.

78 días post siembra



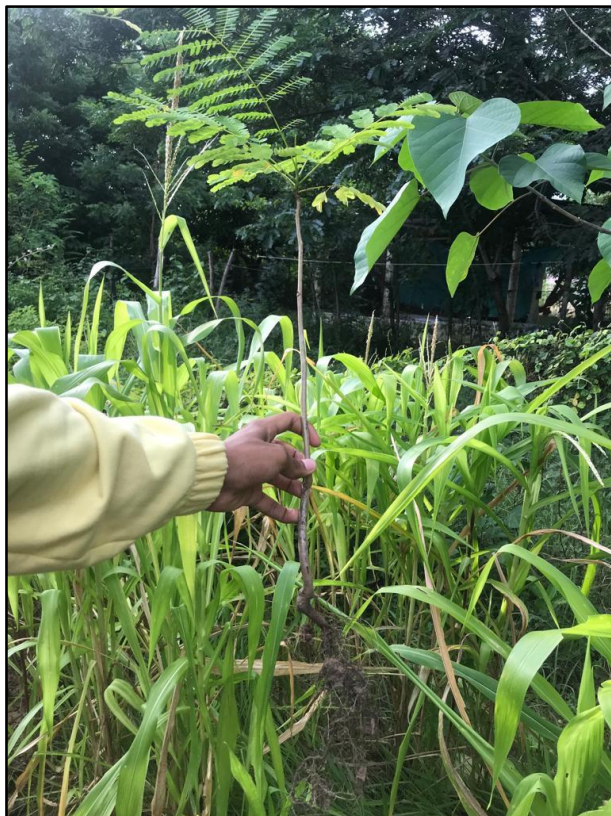
Imagen 19.

121 días post siembra



Imagen 20.

Crecimiento de la raíz a los 121 días



A continuación, se muestra el crecimiento de las especies cuando ya pasaron los 121 días de la siembra con el fin de saber que tan eficientes resultó la aplicación de las especies.

Tabla 9.

Crecimiento de las especies

Crecimiento de las especies a los 121 días	Parcelamientos					
	1		2		3	
	Yaguaro	45 cm	Maíz	1.16 m	Maíz	1.68 m
Acacia riparia kunth	1.10 m	Yaguaro	33 cm	Yaguaro	38 cm	
Pasto Brachiaria	60 cm	Pasto estrella	40 cm	Acacia riparia kunth	70 cm	
				Pasto Brachiaria	75 cm	



ETAPA 3: ANALISIS FISICOS, QUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS DEL SUELO POST IMPLEMENTACION DEL TRATAMIENTO.

Se procedió a realizar la toma de muestra en cada uno de los parcelamientos, según el procedimiento estipulado por el laboratorio de suelos a nivel nacional, (IGAC), realizando 3 muestreos puntuales con la finalidad de conocer y analizar sus propiedades físico-químicas y microbiológicas luego de aplicados los tratamientos en cada sitio.

Imagen 21.

Toma de muestra para análisis post tratamiento



Imagen 22.

Muestreo por parcelamiento



La siguiente tabla muestra los resultados de las características físicas del suelo disturbado por minería de arcilla, realizando una comparación con las características físicas iniciales del suelo.

Tabla 10.

Análisis físicos post tratamiento

Tratamiento	Estructura	Textura	Densidad Aparente g/cc	Humedad %
Control	Arena 0 %	Arcillo- Limosa (ArL)	1,20	42
	Limo 40 %			
	Arcilla 60 %			
Parcelamiento 1	Arena 33 %	Franca (F)	1,21	40
	Limo 43 %			
	Arcilla 24 %			
Parcelamiento 2	Arena 10 %	Franco- arcillo-limosa (FArL)	1,16	43
	Limo 60 %			
	Arcilla 30 %			
Parcelamiento 3	Arena 4%	Franco- arcillo-limosa (FArL)	1,16	43
	Limo 60%			
	Arcilla 36%			

Nota: Estos datos fueron obtenidos de los resultados del análisis físico que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.

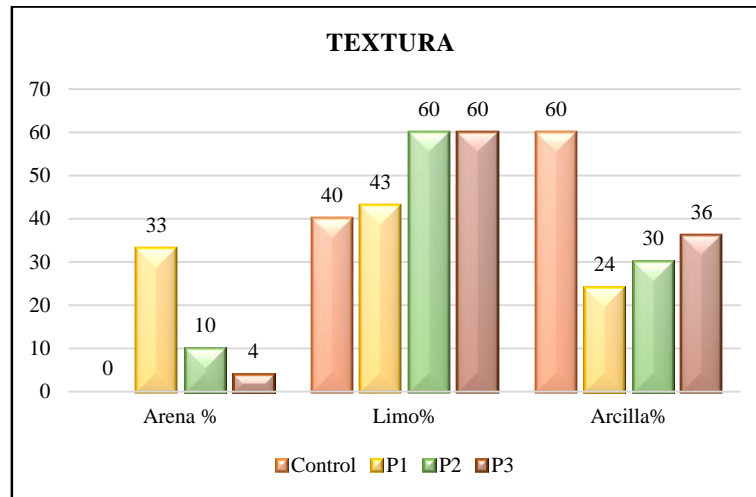
▪ TEXTURA

La textura es una propiedad que indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo, como se pudo observar en la tabla anterior después de la implementación del tratamiento en cada uno de los parcelamientos la textura del suelo cambió, pasamos de un suelo arcillo-limosa a una textura franca en el primer parcelamiento y franco-arcillo-limosa en los parcelamientos 2 y 3, este cambio se pudo producir ya que en el momento de hacer la recolección de la muestra varió un poco la profundidad del muestreo ya que entre un horizonte y otro se pueden encontrar variaciones de texturas, además de la distancia entre muestreo, cabe resaltar que los 4 parcelamientos en términos generales presentaron muy buenas texturas. Villaroel (1988), afirma que la textura arcillo-limosa son suelos muy fértiles pero debido a la presencia de arcilla y limos muy finos, pueden hacer difícil el manejo de estos suelos, debido a la formación de costras superficiales, o a la poca estabilidad superficial, por otro lado los suelos con textura franco son los más adecuados para la agricultura, presentan muy buena capacidad de retención de la humedad y condiciones físicas favorables e ideales, la presencia de nutrientes en general es muy buena y

por último, la textura franco-arcillo-limosa, en general, se los considera suelos excelentes agrícolamente, su manejo puede presentar algunos problemas cuando el contenido de arena es bajo y el de arcilla es alto.

Gráfica 3.

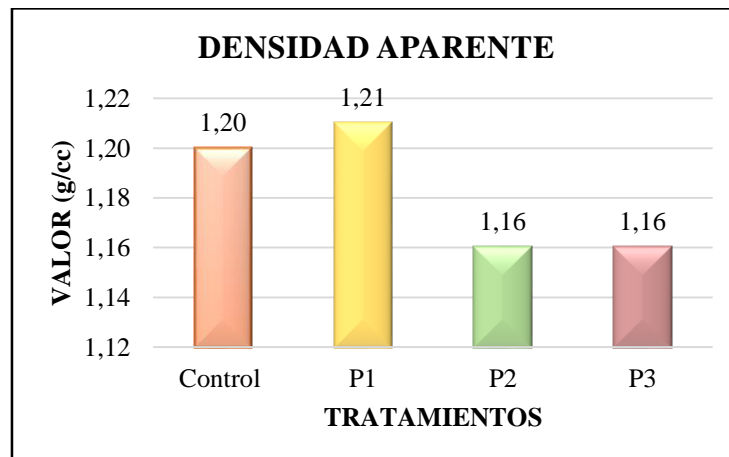
Variación de textura en los cuatro parcelamientos



▪ DENSIDAD APARENTE – g/cc

Gráfica 4.

Variación de densidad aparente en los cuatros parcelamientos



De acuerdo a la gráfica 4 la cual muestra la variación de densidad aparente en cada uno de los parcelamientos podemos decir que no hubo diferencia significativa entre el suelo de control y el parcelamiento 1, en cuanto a los otros dos parcelamientos se observa que hubo diferencia significativa con respecto al valor del parcelamiento de control. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar

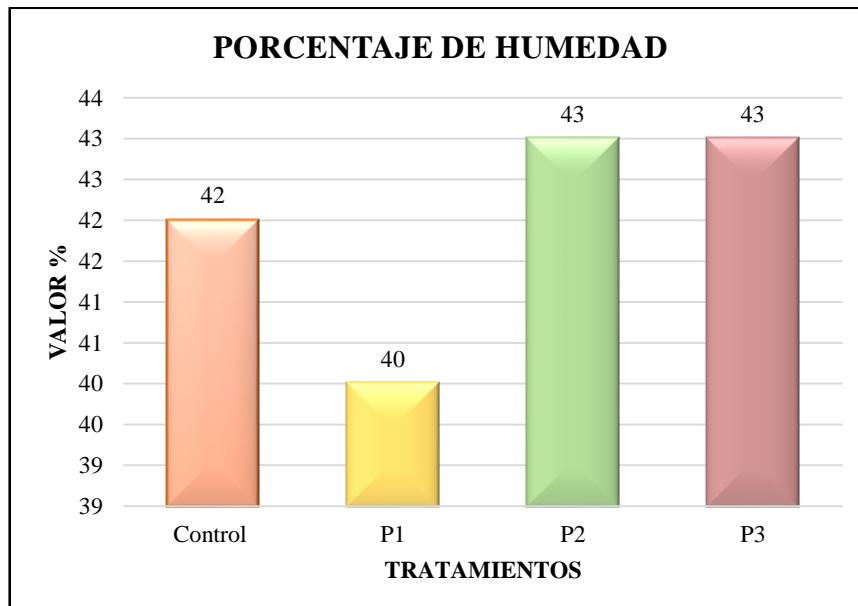
estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes (Taboada & Álvarez, 2008). A medida que aumenta la MO y el espacio poroso, disminuye la DA y viceversa.

▪ **PORCENTAJE DE HUMEDAD - %**

La humedad del suelo depende de las precipitaciones, la intensidad del consumo de agua por parte de las plantas o la temperatura del aire, entre otros factores. Como se muestra en la gráfica a continuación se podría decir que el porcentaje de humedad no mostró un gran cambio en relación con el de control y los otros parcelamientos, sin embargo, es importante mencionar que el P1 tuvo un porcentaje de humedad de 40 % lo que quiere decir que bajó un 2% esto se produce después de un evento de lluvia o de riego que satura el suelo, hay un rápido movimiento descendente (drenaje) de una parte del agua del suelo debido a la fuerza de gravedad, durante el proceso de drenaje, la humedad del suelo disminuye continuamente. Por otro lado, los otros dos parcelamientos aumentaron un 1% con relación al de control esto se debe a la temperatura ya que, al disminuir la temperatura, el aire se vuelve más húmedo, por lo tanto, el porcentaje de humedad aumenta.

Gráfica 5.

Variación en el porcentaje de humedad en los cuatro parcelamientos



A continuación, en la Tabla 9 se muestran los resultados de las características químicas del suelo disturbado por minería de arcilla, realizando una comparación con las características químicas iniciales del suelo.

Tabla 11.

Análisis químicos post tratamiento

PARAMETROS															
TRATAMIENTOS	pH	M.O %	C.O %	C.E (mS/cm)	N- total %	C.I.C (meq/100g)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	Mg (meq/100cc)	Ca (meq/100cc)	P (ppm)	K (meq/100cc)	S (ppm)
Control	6,28	1,43	0,83	0,17	0,07	29,43	115	0,30	1,30	0,38	6,11	11,99	14	0,08	6
Parcelamiento 1	6,85	3,03	1,76	0,20	0,15	16,93	123	0,40	2,80	0,19	5,78	15,25	67	0,30	2
Parcelamiento 2	6,30	3,02	1,42	0,20	0,15	22,41	120	0,32	2,61	0,17	5,70	12,3	48	0,31	1
Parcelamiento 3	7,08	3,06	1,78	0,37	0,15	23,46	138	0,50	3,30	0,23	6,74	13,74	86	0,38	1

Nota: Estos datos fueron obtenidos de los resultados de los análisis químicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022

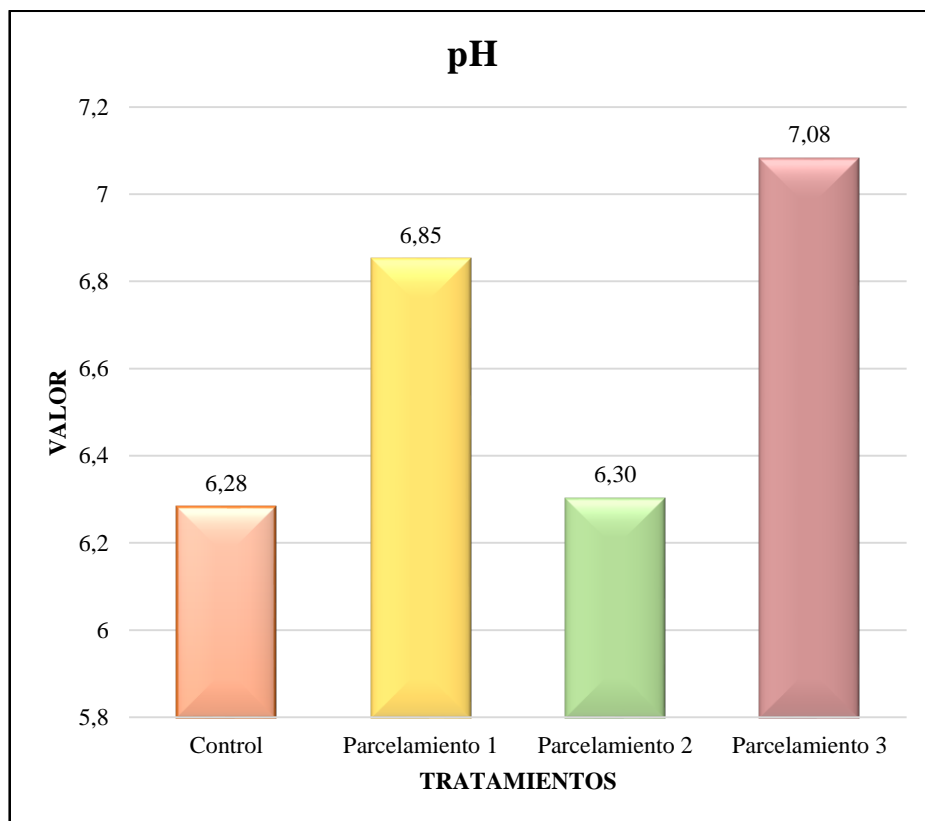


- **pH**

De acuerdo al análisis inicial del suelo disturbado por minería de arcilla, y el análisis post tratamiento se puede decir que el pH aumentó en los tres parcelamientos en donde se aplicaron los tratamientos, como se puede observar en la gráfica 6. El parcelamiento de control y el parcelamiento 2 dieron un pH de 6,28 y 6,30 que según la tabla de interpretación de parámetros en grados de acidez o alcalinidad del IGAC para calidad de suelo (ver anexo 9), es ligeramente ácido, lo significa que posee condiciones adecuadas para el crecimiento de la mayoría de los cultivos, por el contrario, el parcelamiento 1 y 3 dieron pH de 6,85 y 7,08, lo que quiere decir que tienen un pH neutro que es cuando presenta porcentajes equilibrados y disponibilidad de los elementos químicos primarios y secundarios. Cabe resaltar que a pesar de que los parcelamientos 1 y 3 tuvieron pH neutro, el parcelamiento que mayor valor tuvo fue el parcelamiento 3. Se podría decir que el aumento del pH en los parcelamientos es debido a la enmienda que utilizamos ya que la cascarilla de arroz ayuda a corregir la acidez de los suelos.

Gráfica 6.

Variación del pH en el suelo disturbado

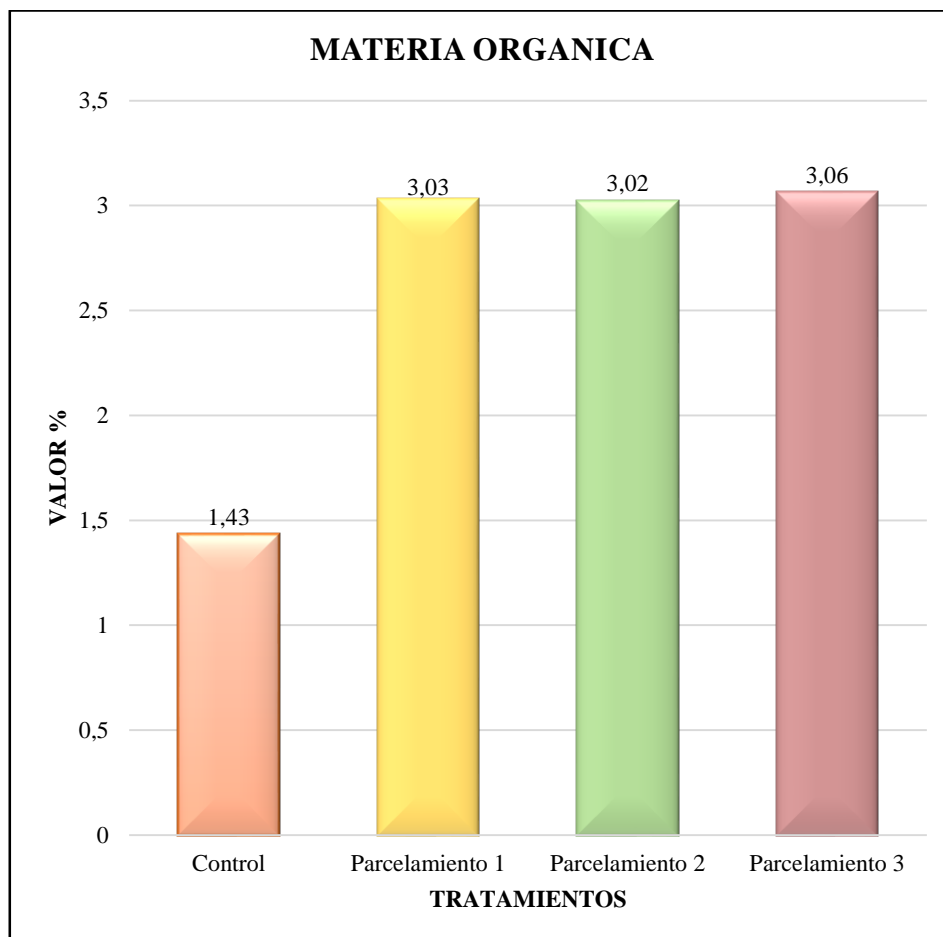


▪ **MATERIA ORGANICA – M.O%**

En relación con el parcelamiento de control se puede decir que la materia orgánica aumentó en los tres parcelamientos en los cuales aplicamos los tratamientos como podemos observar en la gráfica a continuación, ya que en el análisis de control se presentó niveles bajos de materia orgánica con un valor de 1,43% y los parcelamientos 1, 2 y 3 presentaron niveles altos de materia orgánica con porcentajes del 3,03%, 3,02% y 3,06%, esto se consiguió gracias al lombricompost y la enmienda aplicada en cada uno de los tratamientos. Cabe resaltar que el que tuvo mayor porcentaje de materia orgánica fue el parcelamiento 3.

Gráfica 7.

Variación de materia orgánica en el suelo disturbado

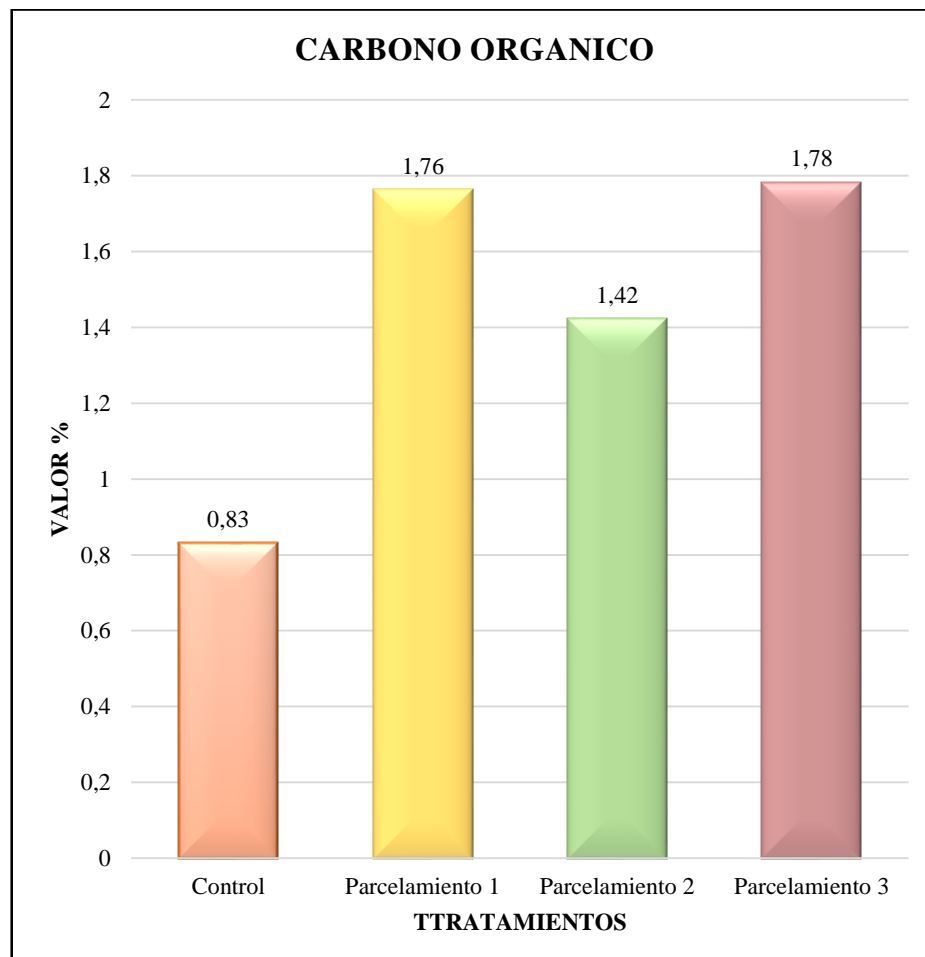


▪ **CARBONO ORGANICO – C.O%**

El carbono orgánico fue uno de los elementos que aumentó considerablemente en todos los tratamientos aplicados, la gráfica 8 muestra el comportamiento del suelo antes y después de la aplicación de las especies, en esta podemos observar que en todos los parcelamientos hubo un aumento del carbono orgánico pero en el que mayor aporte de carbono orgánico hubo fue en el parcelamiento 3, el aumento de este se debe al aporte continuo de material orgánico y la salida de carbono del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera, por erosión y lixiviación (Aguilera, 2000). Es necesario mencionar que el rango óptimo de clasificación de suelos en el IGAC es de (1,2 % -2,3 %) valor que para nuestros resultados el más aceptable es el P3.

Gráfica 8.

Variaciones de carbono orgánico en el suelo disturbado

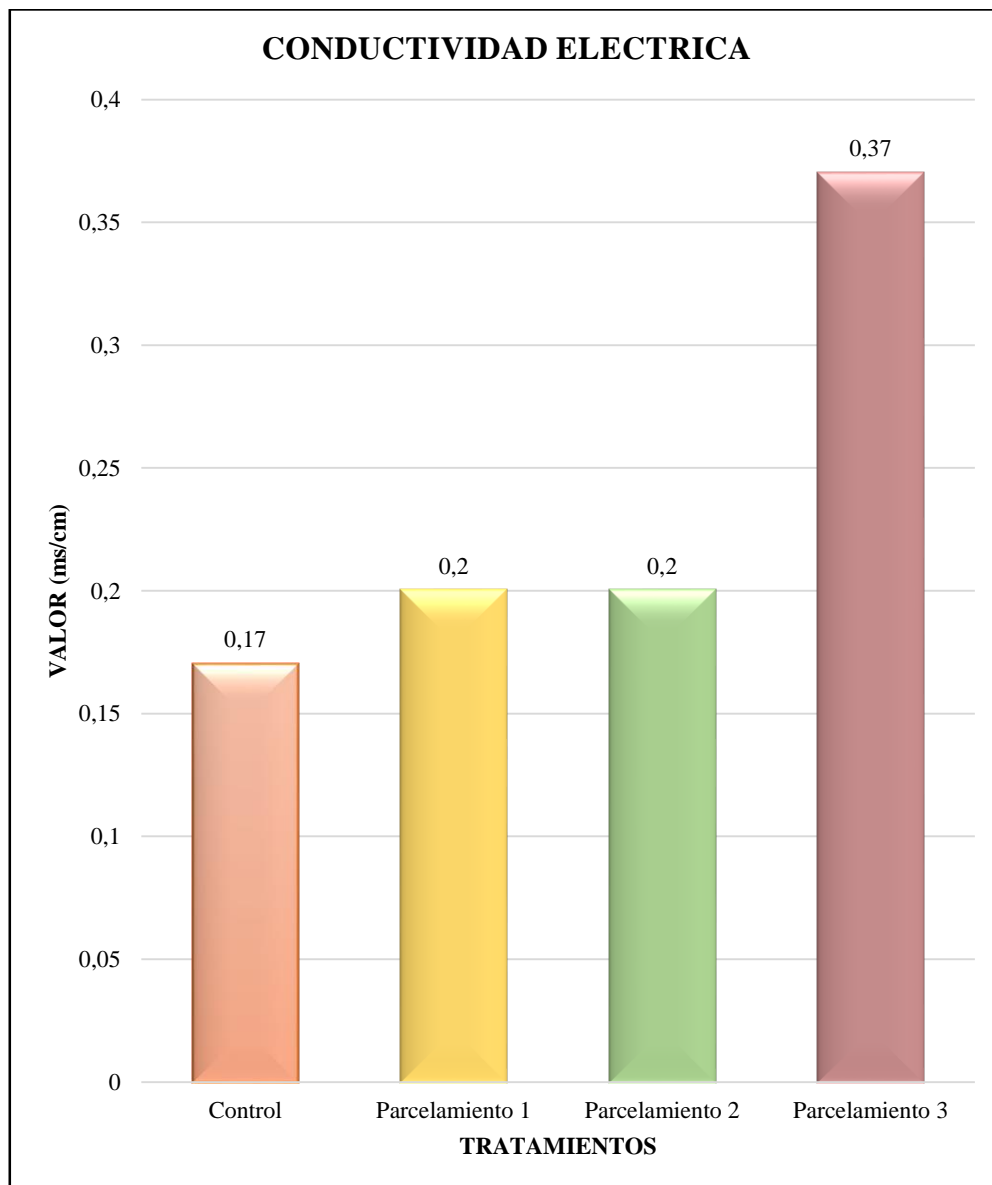


▪ **CONDUCTIVIDAD ELECTRICA – C.E (mS/cm)**

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos observar que en la gráfica 9 se muestra que hubo un aumento de sales sin embargo el valor normal está comprendido entre (0 -2) dS/m (ver anexo 10) lo que significa que el suelo no presenta problemas de salinidad. No se recomienda superar este rango ya que presentaría limitantes en cultivos. Se puede decir que se presentó ese ligero aumento por la utilización de fertilizantes (urea) ya que estos contienen sales que incrementan el valor de la conductividad eléctrica del suelo.

Gráfica 9.

Variación de la conductividad eléctrica en el suelo disturbado

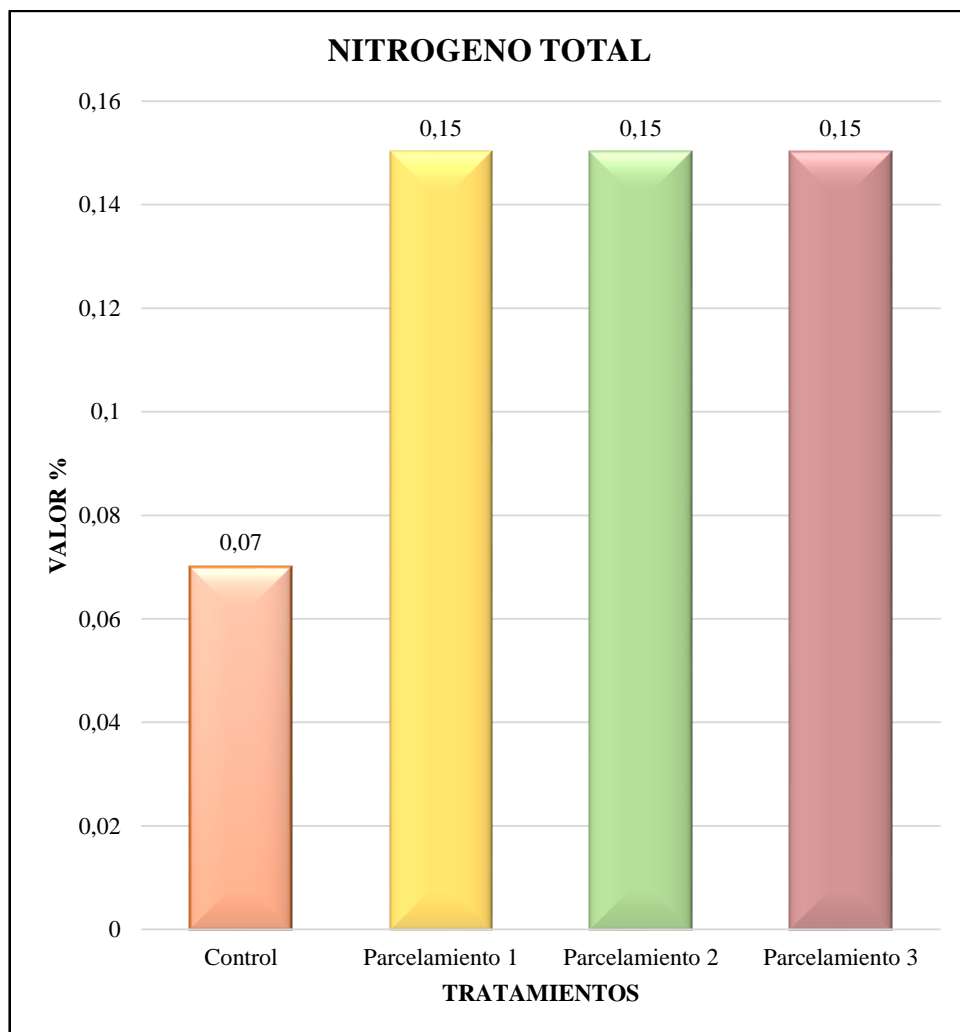


▪ **NITROGENO TOTAL – N. Total %**

Como se puede observar en la gráfica a continuación el valor del nitrógeno total aumentó significativamente en los parcelamientos en los cuales fueron aplicados los tratamientos, el parcelamiento de control tuvo un valor de 0,07% y los parcelamiento 1, 2 y 3 tuvieron un valor del 0,15%, según la tabla de interpretación de % de nitrógeno total (ver anexo 11) los parcelamientos tienen un medio porcentaje de nitrógeno total. González, 2017, afirma que el aumento de este parámetro se debe a las leguminosas ya que estas son beneficiosas para la tierra al fijar nitrógeno en el suelo debido a la acción de determinadas bacterias en nódulos en sus raíces que producen nitratos, además del fertilizante (urea) que también puede subir los niveles de nitrógeno.

Gráfica 10.

Variación del nitrógeno total en el suelo disturbado

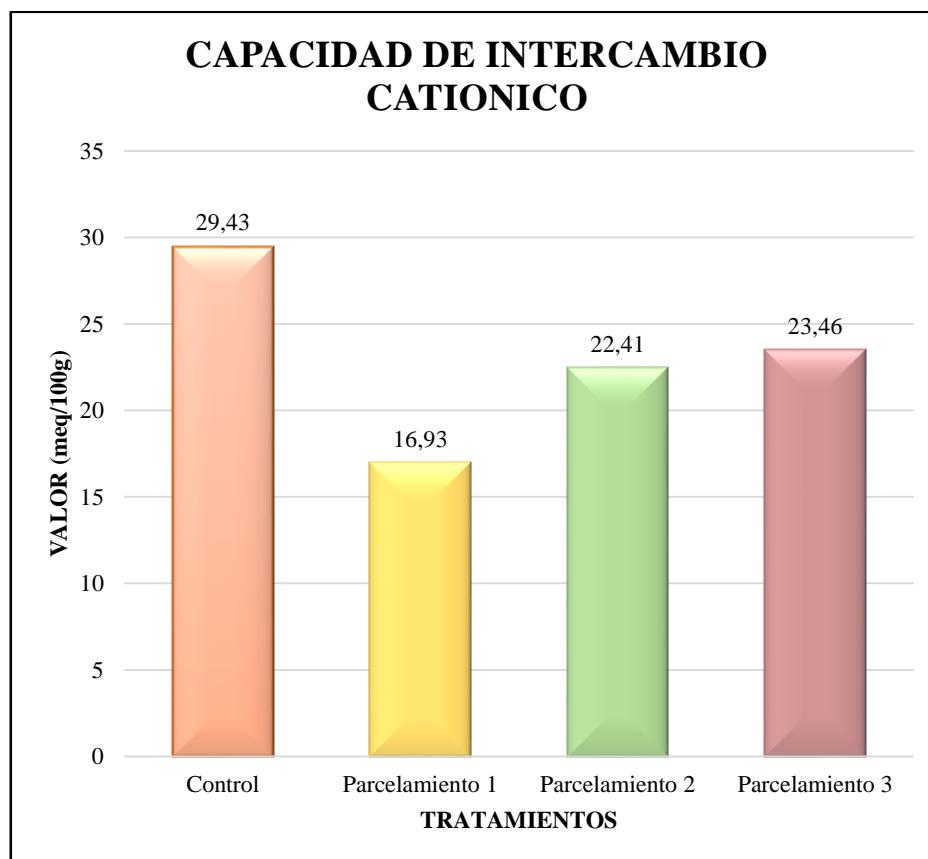


▪ **CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO - C.I.C (meq/100g)**

De acuerdo a la gráfica 11 podemos observar que la capacidad de intercambio catiónico bajó considerablemente ya que en el parcelamiento de control dio un valor de 29,43 meq/100g, lo que quiere decir que es alta según la tabla de parámetros para medir la CIC (ver anexo 12), por otro lado, el parcelamiento 1 el cual dio un valor del 16,93 meq/100g significa que es media, y los parcelamientos 2 y 3 dieron valores de 22,41 meq/100g y 23,46 meq/100g lo cual indica que es alta, sin embargo en comparación con la de control disminuyeron esto se debe a la textura del suelo ya que esta influye en el valor de CIC, suelos con bajos contenido de arcilla posee una CIC más baja y viceversa. La CIC se disminuye como producto de la pérdida de la materia orgánica y alteraciones estructurales de las arcillas (Lerma, Combatt, & Salvador, 2015). Intagri, (2019) afirma que la materia orgánica del suelo proporciona mayor capacidad de retención de nutrientes, es decir, posee mayor capacidad de intercambio catiónico que las propias partículas de arcillas. Por tal razón los aportes de materia orgánica al suelo son muy beneficiosos en la mejora de la fertilidad del suelo.

Gráfica 11.

Variación en la capacidad de intercambio catiónico en el suelo disturbado

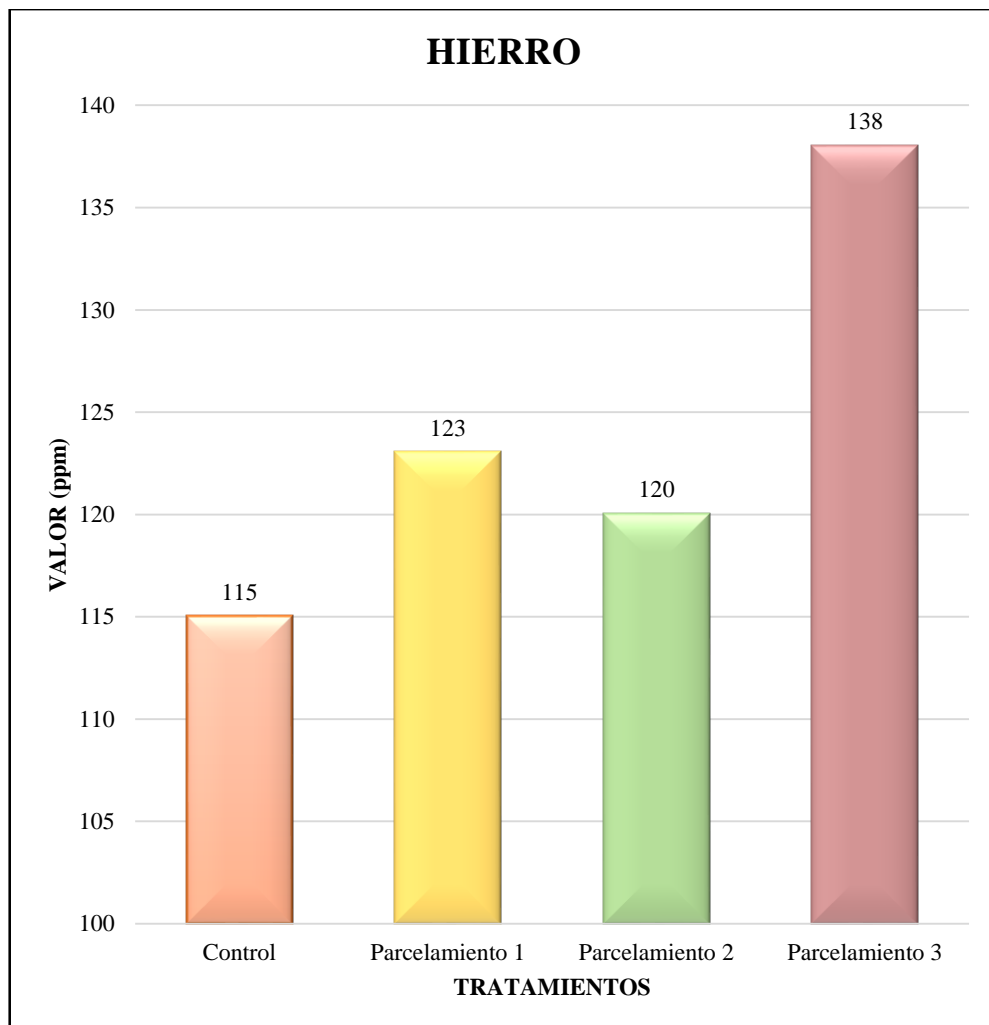


▪ **HIERRO – Fe (ppm)**

Según los datos obtenidos en los resultados de los análisis pre y post tratamiento podemos observar en la siguiente grafica que hubo un incremento del hierro en el suelo disturbado por minería de arcilla, sin embargo, los niveles siguen estando bajos, porque según Juárez, 2016, los niveles más adecuados en suelo están entre 300 y 900 mg/Kg de hierro. Cabe mencionar que el parcelamiento que tiene mejor incremento del hierro fue el parcelamiento 3. Este incremento del hierro puede deberse a las leguminosas ya que contienen buena fuente de minerales como en este caso el hierro, lo cual ayudó a subir los niveles en el suelo.

Gráfica 12.

Variación del hierro en el suelo disturbado

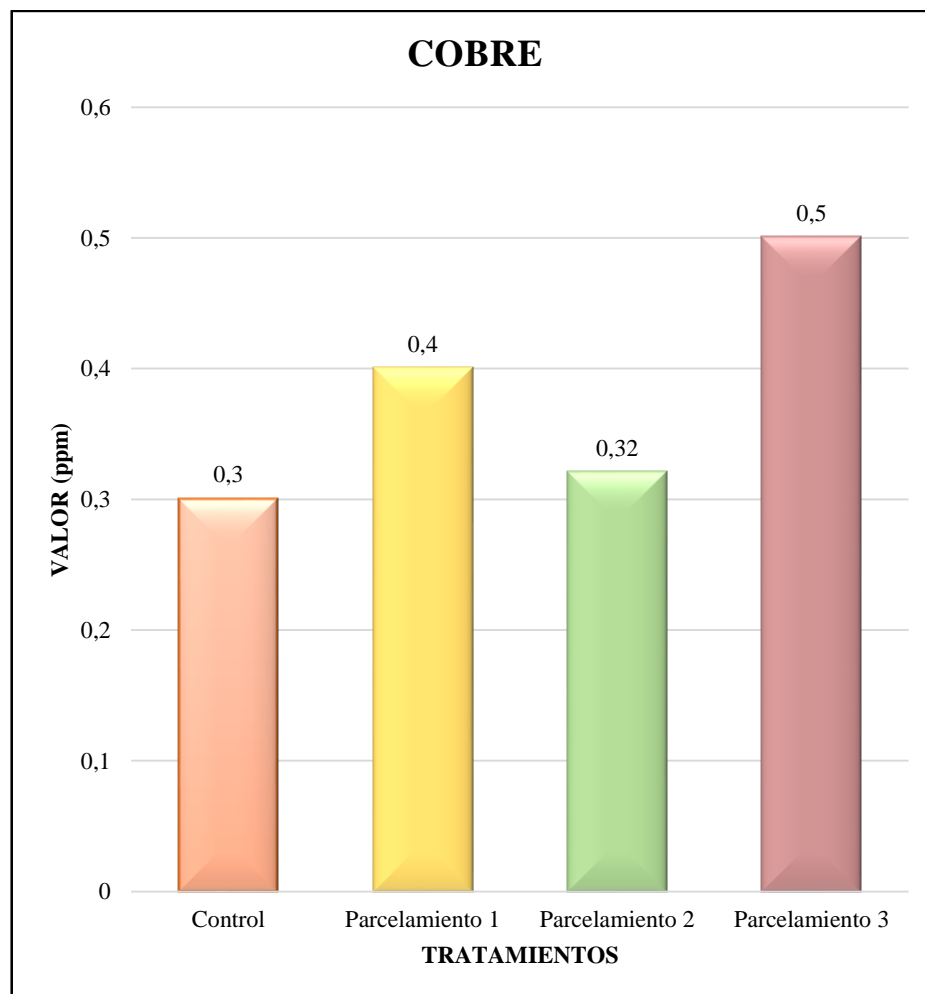


▪ **COBRE – Cu (ppm)**

Como podemos observar en la gráfica 23 existe un aumento en los niveles del cobre en el suelo, ya que en el parcelamiento de control obtuvimos un valor de 0,3 ppm lo que significa que es bajo, y en los parcelamiento 1, 2 y 3 se presentaron valores de 0,4 ppm, 0,32 ppm y 0,5 ppm, que a pesar de ser mayores que el valor del parcelamiento de control siguen estando en niveles bajos de cobre, ya que el rango recomendado por el IGAC es (10-15 ppm). Es importante mencionar que de los parcelamientos a los cuales se le aplicaron los tratamientos el que tuvo un “mayor” nivel de cobre fue el parcelamiento 3. Este incremento del cobre puede deberse a las leguminosas que son una buena fuente de proteínas y minerales como en este caso el cobre.

Imagen 23.

Variación de cobre en el suelo disturbado

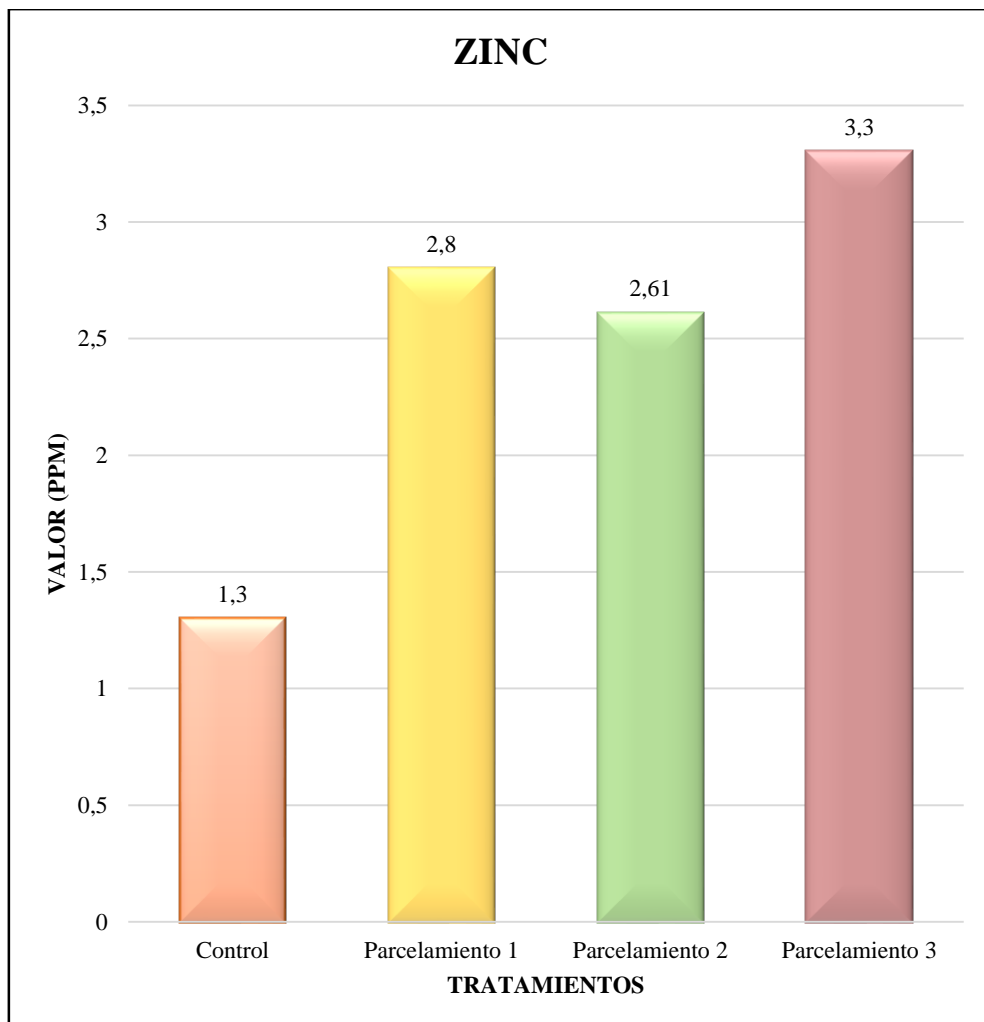


▪ **ZINC – Zn (ppm)**

Como se muestra en la gráfica el zinc subió sus niveles en comparación con el valor del parcelamiento de control ya que este tuvo niveles bajo de zinc con un 1,30 ppm y los parcelamientos 1, 2 y 3 tuvieron niveles medios de zinc. El incremento de los niveles del zinc se produce por la aplicación de la enmienda de lombricompost y compost ya que estos aportan diferentes minerales y micronutrientes como es el caso del zinc. Cabe resaltar que de los tres parcelamientos a los cuales se les aplicó el tratamiento, el parcelamiento 3 fue el que tuvo niveles más alto de zinc.

Imagen 24.

Variación de zinc en el suelo disturbado

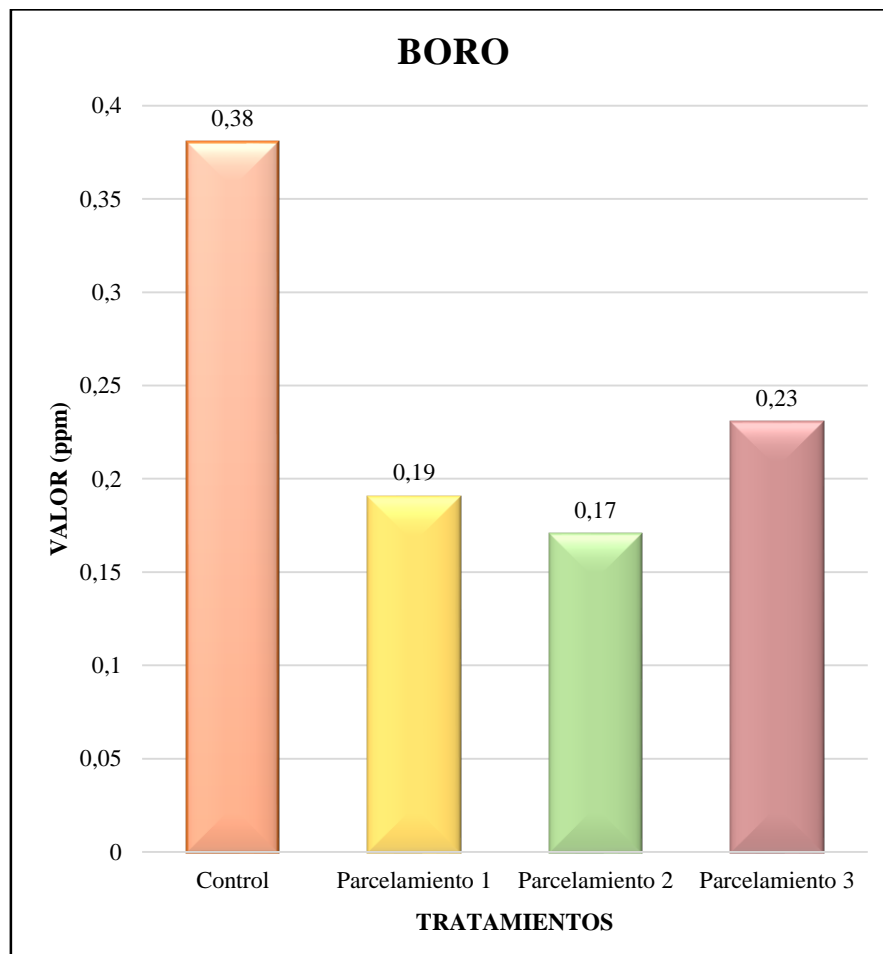


▪ **BORO – B (ppm)**

De acuerdo a la siguiente gráfica y después de estudiar los análisis pre y post tratamiento podemos observar que hubo una disminución considerable en los niveles del boro en el suelo ya que pasamos de un 0,38 ppm a valores bajos en los parcelamientos 1, 2 y 3 con valores de 0,19 ppm, 0,17ppm y 0,23ppm, según el IGAC el contenido de boro en el suelo varía entre 5 - 80 ppm, esto puede deberse a diferentes factores el pH del suelo como se pudo observar anterior mente este subió y a medida que sube, el boro disminuye, este suceso pasa cuando hay exceso de arcilla como es este tipo de suelos debido a la fuerte adsorción del ion borato, también por la humedad del suelo, ya que las fuertes lluvias que se presentaron en la época de invierno pudieron lavar el boro del perfil del suelo y por ultimo a la fuerte temperatura e intensidad luminosa que acentúan los síntomas de deficiencia del boro.

Imagen 25.

Variación de boro en el suelo disturbado

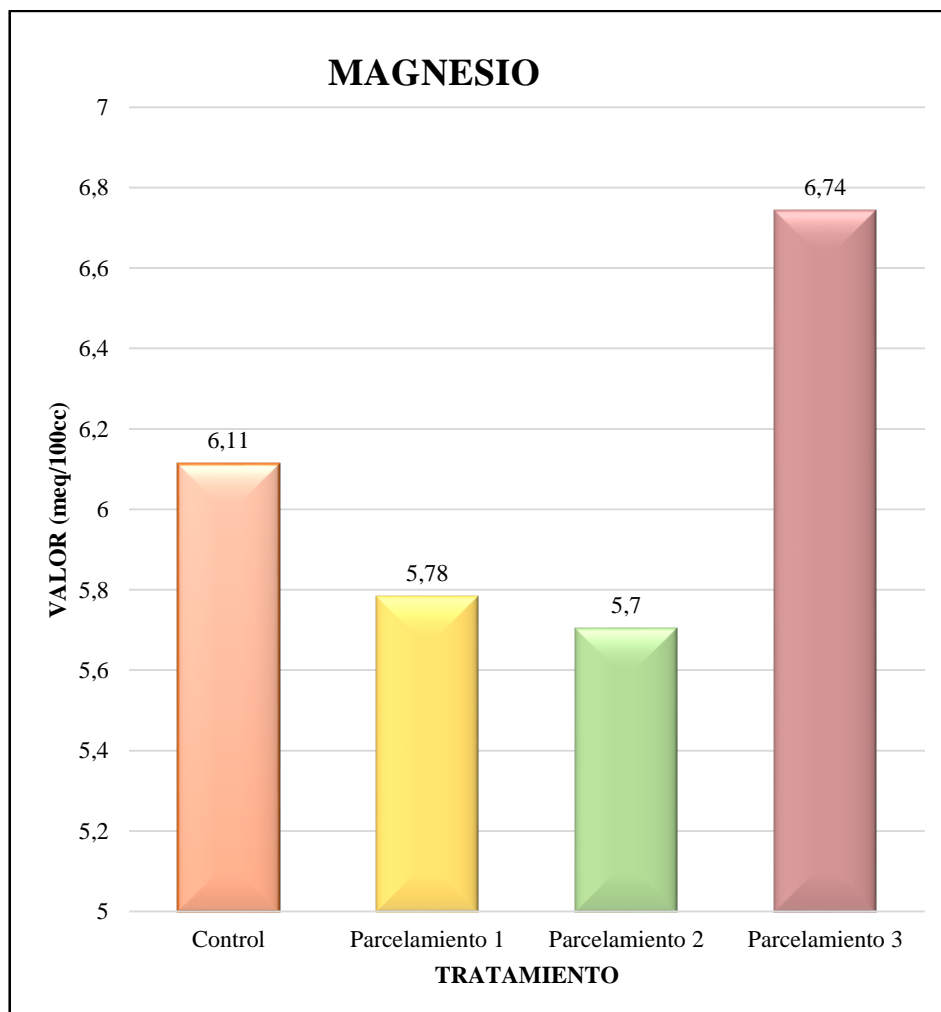


- **MAGNESIO – Mg (meq/100cc)**

Como podemos observar en la gráfico a continuación y según la tabla de niveles de magnesio en los suelos (ver anexo 13), los valores que nos dio antes y después del tratamiento fueron en términos generales niveles altos, sin embargo, es necesario mencionar que en los parcelamientos 1 y 2 bajó el nivel de magnesio con relación al de control, esto pudo se debido por la presencia de bacterias mesófilas aerobias quienes son microorganismos que tienen la capacidad de absorber el magnesio disponible en el suelo, en cambio en el parcelamiento 3 subieron los niveles, esto se debe a que las gramíneas en este caso (pasto brachiaria y maíz) contribuyen aportaciones energéticas lo que trae consigo que los niveles de magnesio se vean incrementados por la presencia de estas especies en el suelo.

Imagen 26.

Variación de magnesio en el suelo disturbado

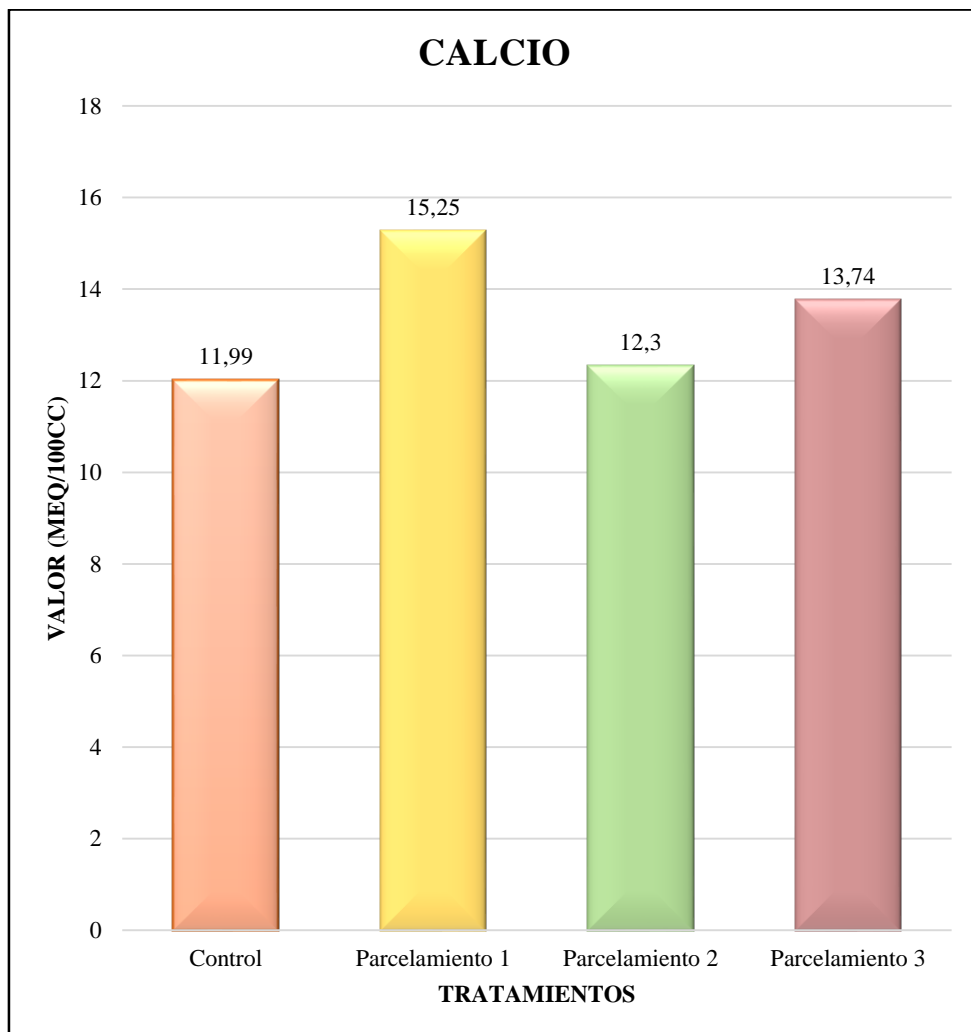


▪ **CALCIO – Ca (meq/100cc)**

De acuerdo a la gráfica 27 los niveles de calcio en términos generales subieron en comparación con el de control el cual dio 11,99 lo significa que el suelo tiene niveles medios de calcio, según la tabla de parámetro (ver anexo 14) en cambio los parcelamientos 1, 2 y 3 dieron valores de 15,25 meq/100cc, 12,3 meq/100cc y 13,74 meq/100cc respectivamente, lo que quiere decir que el suelo posee niveles altos de calcio después de ser aplicado el tratamiento. Estos niveles altos de calcio pueden deberse a la incorporación de las especies gramíneas (Maíz, pasto estrella y brachiaria) y leguminosas (Acacia y Yaguaro) ya que estas contienen una buena fuente de minerales como en ese caso el calcio.

Imagen 27.

Variación del calcio en el suelo disturbado



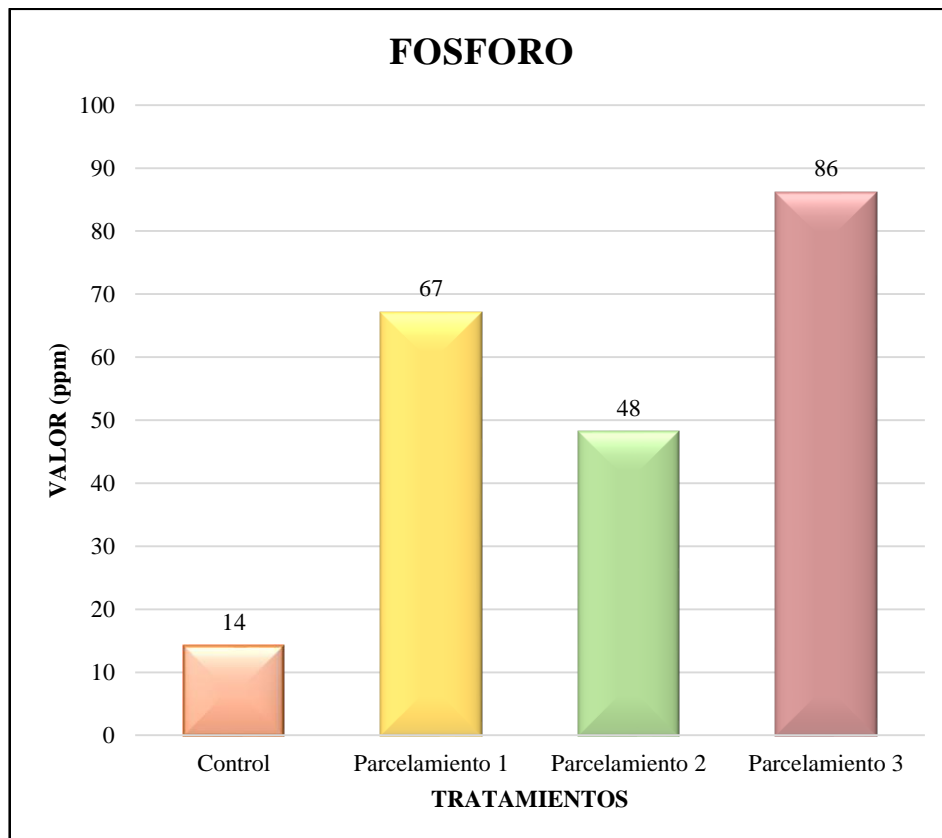
▪ **FOSFORO – P (ppm)**

La grafica a continuación muestra la comparación entre los niveles de fosforo antes de la implementación de las especies y después de la implementación de estas, de la cual podemos observar un incremento significativo, ya que el parcelamiento de control obtuvo un valor de 14 ppm lo que indica que tiene niveles bajos de fosforo, en cambio los parcelamientos 1, 2 y 3 obtuvieron valores de 67 ppm, 48 ppm y 86 ppm respectivamente, lo que indica que tiene niveles altos de fosforo, según la tabla de fosforo (P) aprovechable en el suelo en ppm (ver anexo 15), cabe mencionar que el parcelamiento que obtuvo mayor nivel de fosforo en el suelo fue el parcelamiento 3, este incremento del fosforo se debe a la presencia de las especies utilizadas ya que hicieron un aporte importante de fosforo por medio de sus procesos metabólicos.

El ciclo de los nutrientes está muy ligada a la actividad microbiana del suelo, es el proceso por el cual el carbono, nitrógeno y fosforo se vuelven a utilizar dentro de un ecosistema debido a la actividad metabólica de las plantas y los microbios del suelo, (Sheoran, 2010)

Imagen 28.

Variación del fosforo en el suelo disturbado

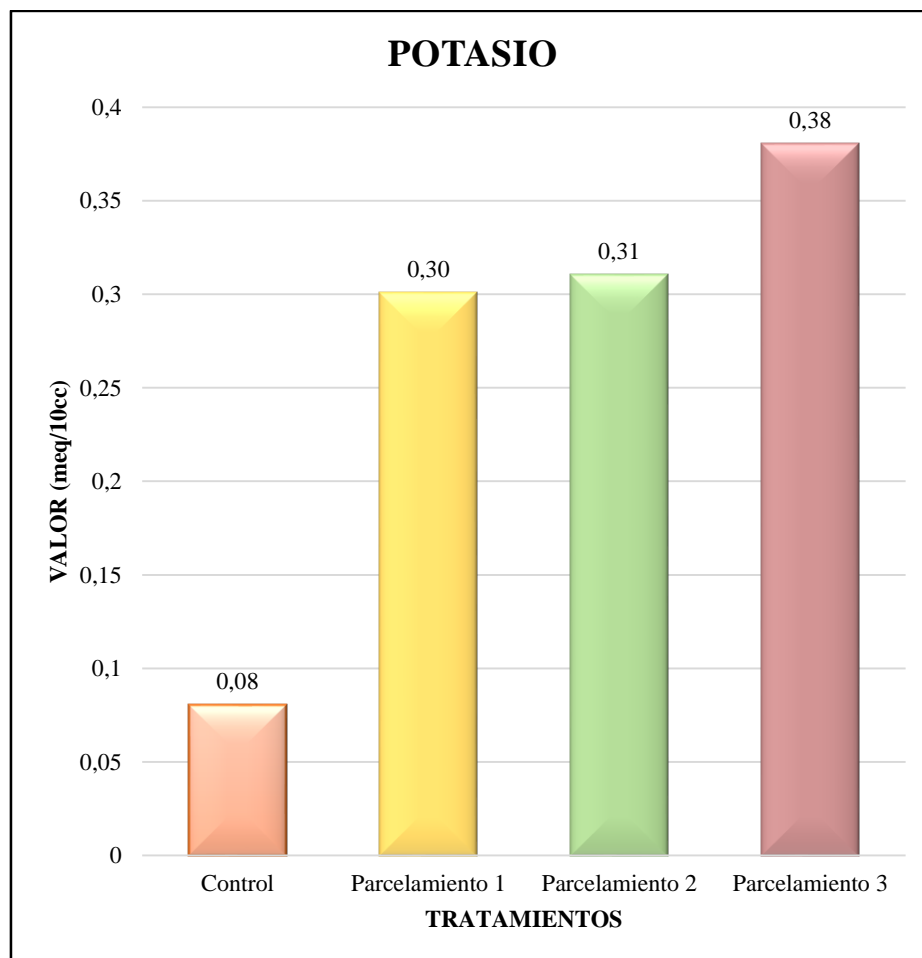


▪ **POTASIO – K (meq/100cc)**

En la siguiente grafica muestra como los niveles de potasio en los diferentes parcelamientos fueron aumentando considerablemente en relación con el parcelamiento de control ya que este valor fue de 0,08 meq/100cc lo cual es deficiente, de acuerdo a tabla de niveles de interpretación del potasio en los suelos (ver anexo 16), sin embargo, los parcelamientos 1, 2 y 3, a los cuales se les aplicó el tratamiento obtuvieron valores un poco más altos, pero los niveles siguen estando bajos. Es importante mencionar que a pesar de que los niveles aún siguen bajos el parcelamiento que obtuvo mayor valor fue el parcelamiento 3. El reducido incremento del potasio en el suelo después del tratamiento puede deberse a las gramíneas ya que poseen niveles aceptables de potasio.

Imagen 29.

Variación de potasio en el suelo disturbado

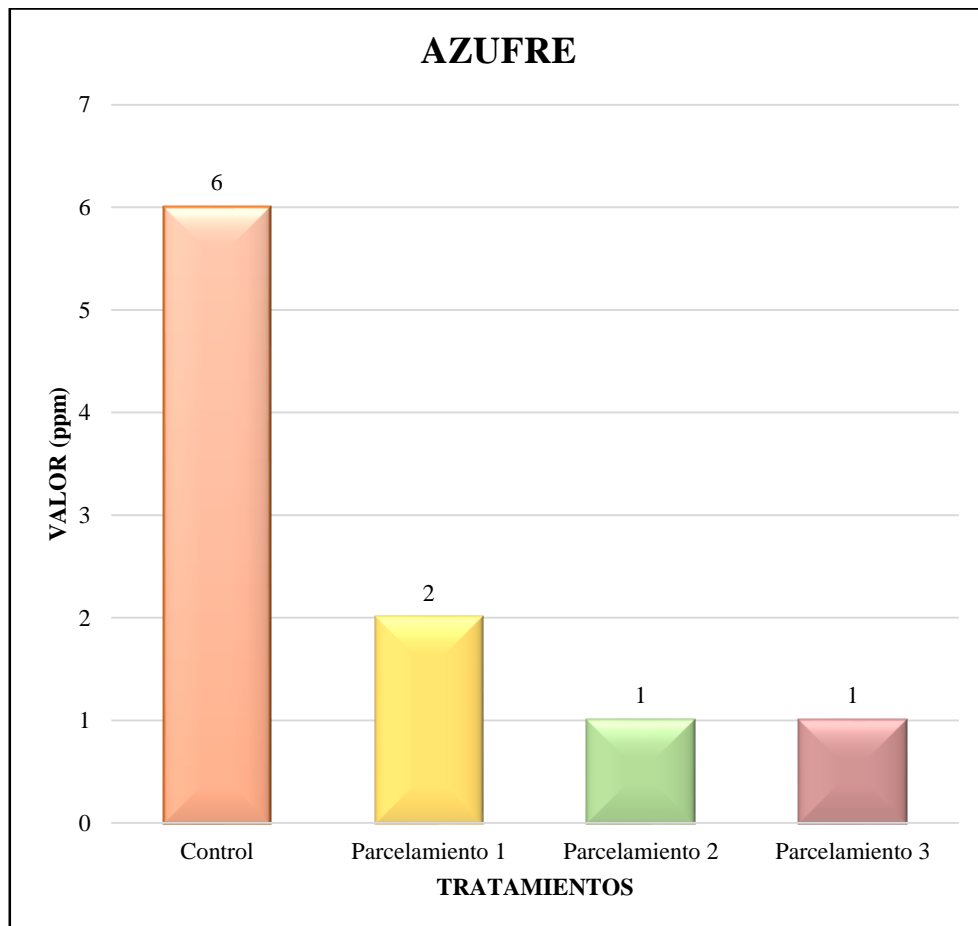


▪ **AZUFRE – S (ppm)**

De acuerdo a los análisis realizados al suelo antes del tratamiento y después de este, podemos observar que hay una disminución considerable del azufre en el suelo, ya que en el parcelamiento de control nos dio un valor de 6 ppm lo cual indica que tiene niveles deficientes, pero en los parcelamiento 1, 2 y 3 nos dieron valores mucho más bajos de 2 y 1. Hay que tener en cuenta que los valores óptimos según el IGAC está entre (11-15 ppm). Yara, 2021 afirma que el Zn tiende a ser adsorbido por las arcillas y la materia orgánica, por lo que no se lixivía fácilmente y tiende a acumularse en la parte superficial del suelo.

Imagen 30.

Variación de azufre en el suelo disturbado



En la tabla a continuación podemos observar las diferencias de los análisis microbiológicos antes y después de ser aplicado el tratamiento:

Tabla 12.

Análisis microbiológicos post tratamiento

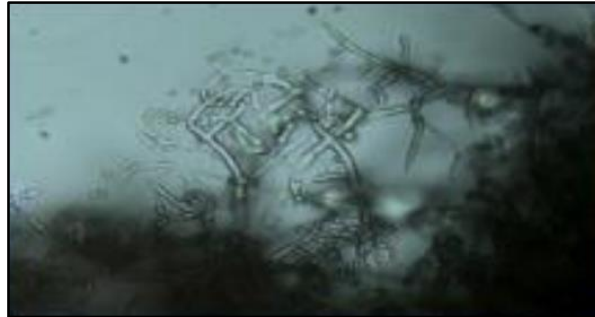
Tratamiento	Nombre científico	Población
Control	Bacterias Mesófilas Aerobias	10 X10E ⁵ UFC/g
	Pseudomonas sp	13 X10E ³ UFC/g
	Levaduras	11 X10E ¹ UFC/g
	Penicillium sp	3 X10E ³ UFC/g
	Trichoderma sp	2X10E ² UFC/g
Parcelamiento 1	Penicillium sp	2 X10E ³ UFC/g
	Pseudomonas sp	22 X10E ³ UFC/g
	Bacterias Mesófilas Aerobias	11 X10E ⁵ UFC/g
	Aspergillus sp	3 X10E ³ UFC/g
Parcelamiento 2	Penicillium sp	2 X10E ³ UFC/g
	Pseudomonas Sp	15 X10E ³ UFC/g
	Bacterias Mesófilas Aerobias	11 X10E ⁵ UFC/g
	Aspergillus sp	3 X10E ³ UFC/g
Parcelamiento 3	Penicillium Sp	5 X10E ³ UFC/g
	Pseudomonas sp	27 X10E ¹ UFC/g
	Aspergillus sp	7 X10E ³ UFC/g
	Trichoderma sp	4X10E ² UFC/g
	Mucor sp	1 X10E ³ UFC/g
	Fusarium sp	2 X10E ³ UFC/g

Nota: Estos datos fueron obtenidos de los resultados de los análisis microbiológicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022



Imagen 31.

Trichoderma sp presentes en el parcelamiento de control y parcelamiento 3



Nota: Esta imagen fue proporcionada de los resultados de los análisis microbiológicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.

Imagen 32.

Penicillium sp presentes en los cuatro parcelamientos



Nota: Esta imagen fue proporcionada de los resultados de los análisis microbiológicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.

Imagen 33.

Aspergillus sp presente en los parcelamiento 1, 2 y 3



Nota: Esta imagen fue proporcionada de los resultados de los análisis microbiológicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.

Imagen 34.

Mucor sp presente en el parcelamiento 3



Nota: Esta imagen fue proporcionada de los resultados de los análisis microbiológicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.

Imagen 35.

Fusarium sp presentes en el parcelamiento 3



Nota: Esta imagen fue proporcionada de los resultados de los análisis microbiológicos que realizó el laboratorio HÁBITAT, 2022.

Es importante saber que tanto los hongos como bacterias cumplen funciones esenciales en el suelo, de este modo las bacterias constituyen el grupo más diverso de microorganismos del suelo, y así mismo los hongos y otros como las micorrizas que viven en forma simbiótica en las raíces de plantas. Muchos hongos son importantes en los procesos de descomposición de la materia orgánica. Además de los hongos benéficos, también se pueden aislar del suelo los hongos fitopatógenos (INTA-COSTA RICA, 2015).

En el recuento de los microorganismos encontrados posterior a la aplicación de las especies y enmiendas encontramos la presencia de nuevos microorganismos, mayores y menores unidades formadoras de colonias de las ya identificadas inicialmente en algunos de los casos, debido a la actividad que se realizó en el suelo durante este periodo de 121 días con

el objetivo de aportar macro y micronutrientes al mismo y optimizar algunos para llevarlos a condiciones ideales.

En el parcelamiento 1 y 2 encontramos las mismas especies microscópicas (*Penicillium Sp*) 2×10^3 UFC/g disminuyendo un punto debido a la pérdida de humedad que se presentó en estos parcelamientos por la implementación de la remediación.

También se contó con la presencia de *pseudomonas Sp* en el parcelamiento 1 y 2 (22×10^3 UFC/g y 15×10^3 UFC/g) respectivamente, en ambos aumentos en comparación con el inicial produciendo un incremento en el fósforo disponible en el suelo, y en el parcelamiento 3 (27×10^1 UFC/g) también aumentó lo cual tiene relación porque fue en el que se vio un alta significativa de los niveles de fósforo en el suelo.

Es importante recalcar que en el parcelamiento 3 se encontraron la presencia de nuevas especies de microorganismos *Trichoderma Sp* que promueven el crecimiento de las plantas de una manera acelerada por la relación simbiótica que hace con las raíces, *Mucor Sp* y *Aspergillus Sp* quienes son hongos productores de micotoxinas las cuales son secretadas por ellos mismos durante de la degradación de la materia orgánica, en donde también en este parcelamiento se determinó que fue el que presentó mayor nivel de M.O y por último el *Fusarium Sp* quien es el principal indicador de que en el suelo de este parcelamiento se encuentra materiales en descomposición ya que es su principal alimento, por lo tanto se desarrollan en estos ambientes.



7. CONCLUSIONES

Finalmente, podemos llegar a la conclusión que la implementación de estas especies (Gramíneas, Fabáceas y Leguminosas) además de la aplicación de enmiendas aportaron macro y micronutrientes al suelo disturbado por esta actividad minera mejorando así las condiciones iniciales.

No obstante, de los 3 parcelamientos que definimos para aplicar el proceso de remediación el que presento mejores resultados fue el número 3 en donde se encontraban las especies (Maíz, Pasto Brachiaria, Yaguaro, Acacia Riparia Kunt y enmienda), el maíz fue el encargado de mejorar el carbono orgánico presente en los parcelamientos en donde se aplicó, pero el nivel más elevado fue en el 3, esto debido a que el cultivo de maíz mejora el balance de este nutriente, del mismo modo coadyuvo a cambiar la estructura física del suelo, pasando de uno arcillo-limoso a uno Franco-arcillo limoso sabiendo que esto pudo ser resultado de los cambios cualitativos que experimento la materia orgánica en el mismo y la presencia de microorganismos que ayudan a degradarla.

En cuanto a la variación de pH, se pudo presentar por dos razones; la primera por la aplicación de la fertilizantes de origen químico (urea) la cual fue utilizada para acelerar el proceso de germinación de la semilla y el crecimiento de las especies o por los fenómenos de periodos lluviosos los cuales hacen que hayan grandes variaciones de pH debido a que hay reacciones químicas en la dinámica del suelo ocasionando combinaciones de algunos nutrientes que pudieron provocar variaciones aceleradas en el pH pasando de uno ligeramente ácido a uno totalmente neutro.

Por otra parte, la humedad también incremento en cuanto al análisis inicial pasando de 42% a 43% causado por la lluvia, ya que, al disminuir la temperatura, el aire se vuelve más húmedo y por lo tanto el porcentaje de humedad del suelo se verá afectado.

En cuanto a lo que compete la materia orgánica, evidenciamos que en los 3 parcelamientos pasamos de un nivel bajo a un nivel alto de M.O presente, esto fue producto de la aplicación del compost y lombricompost, encontrando el mejor porcentaje en el parcelamiento 3, pero es importante mencionar que el *aspergillus Sp* es un principal indicador

de materia orgánica disponible en el suelo, y al realizar estos análisis evidenciamos la presencia de UFC de estos hongos.

Del mismo modo encontramos mejoras en los macronutrientes (calcio, magnesio, potasio, fósforo y azufre) producto de que las especies como las gramíneas y las leguminosas favorecen la actividad microbiana del suelo, lo que a su vez facilita la biodisponibilidad de y absorción de nutrientes. Y así mismos micronutrientes (Cobre, zinc, boro y hierro) enriqueciendo o incrementando la fertilidad de los suelos.

La aplicación de estas especies determina que la recuperación de suelos disturbados por la minería si es efectiva siempre y cuando se le realice un seguimiento, dándole cumplimiento al objetivo general de esta investigación y evidenciando que la interacción de las especies indica mejoras en el proceso de remediación del suelo.



8. RECOMENDACIONES

Al momento de implementar este proyecto es necesario apoyarse en las especies aplicadas en el parcelamiento 3 en caso tal quieran realizar un proceso de recuperación de suelo disturbado por la actividad minera, ya que fueron las que presentaron mayor rendimiento en comparación con la combinación de las otras especies en los otros parcelamientos

Se recomienda dejar actuar a las especies por periodos de tiempos más prolongados, debido a que esto podría ayudar a mejorar algunos parámetros que no están en condiciones ideales y realizar riegos en caso se encuentre en época de sequía la zona en la que quieran aplicarlo.

Se recomienda la utilización de estas especies por su facilidad de ubicación y por su bajo costo, en lo que además se hace necesario realizar un seguimiento de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos con el fin de saber en cuales condiciones se encuentra en suelo y saber si es un suelo apto para que las plantas resistan sus condiciones.

Se ratifica que el uso de compost y lombricompost ayuda mejorar los niveles de materia orgánica disponible en el suelo.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

-Admin, 2019. Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Recuperado de:
<https://agroproductores.com/capacidad-de-intercambio-cationico/>

-Aguirre h, 2012. especies forestales bosques secos ecuador. recuperado de:
https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/21/14042335632720/especies_forestales_bosques_secos_del_ecuador.pdf

- Aguilera S., S. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065>.

- Barriga, Visbal, & Acero, 2011. "Relación entre los caracteres de las micorrizas arbusculares nativas con las propiedades fisicoquímicas del suelo y bromatología del pasto estrella en ganadería de carne". Revista Científica UDO Agrícola. Vol. 11, No.: 134-141. Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá (Colombia). Disponible en:
<http://www.bioline.org.br/pdf?cg1>

- Carrillo, Cedeño, Quiroz y López, 2017. responsabilidad ambiental de la mina de arcilla betel en san juan del cesar, la guajira. recuperado de: <https://revia.areandina.edu.co>

- Contexto ganadero, 2015. humidícola, pasto perfecto para reses que viven en suelos ácidos. recuperado de: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/humidicola-pasto-perfecto-para-reses-que-viven-en-suelos-acidos>

-Dan, 2013. proyecto sobre la fitorremediación. recuperado de
<https://lafitorremediacion.blogspot.com/2013/11/proyecto-sobre-lafitorremediacion.html>

- Desgarannes y Carrión, 2019. Las bacterias que ayudan a las plantas a crecer. Recuperado de: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1360-las-bacterias-que-ayudan-a-las-plantas-a-crecer>

- Dorado, Ortiz, Sanz, y villar, 2017: técnicas de recuperación de suelos contaminados. Recuperado de
https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf

-Duarte, 2018. Evaluación de los recursos de arcilla del título minero 164-20 "el cielo", municipio de Valledupar-cesar. recuperado de:
<https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/1026/evaluacion%20de%20los%2>

[Orecursos%20de%20arcilla%20del%20titulo%20minero%20164-](#)

[20%20cantera%20el%20cielo%20en%20el%20municipio%20de%20valle.pdf?sequence=1&isallowed=y](#)

-Falcon y Vanessa, (2016). fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con Zea mays l. en la estación experimental el mantaro - Junín. recuperado de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/uncp/4611>

- Figueroa, Leyton, Munive y Sánchez, 2018. fitorremediación con maíz (Zea mays l.) y compost de stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=s2077-99172018000400011&script=sci_arttext&tlng=pt

-Finkeros, 2013. pasto brachiaria. recuperado de: <http://abc.finkeros.com/pasto-brachiaria/>

-Garrido, 1994. Interpretación de análisis de suelos. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf

-Grandez, 2017. remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del río mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (helianthus annuus) y maíz (Zea mays) usando enmiendas. recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3537>

- Gutiérrez, Hernández y Pastor, 2012. respuesta del maíz (Zea mays) en suelos contaminados por metales pesados después de crecer una comunidad de pasto. recuperado de: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/27823>

- Gutiérrez y Plata. (2019). Recuperación de suelos mineros disturbados a través de los procesos de lombricultura y compost en la mina el cielo corregimiento de Valencia de Jesús – Cesar. Universidad Popular del Cesar

-Hernández, (2017). dinámica de nutrientes en la hojarasca foliar de las especies mimosa arenosa y caesalpinia mollis (Fabaceae), utilizadas en planes de rehabilitación en la mina del cerrejón, la guajira, Colombia. recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/198276584.pdf>

- Intagri, 2018. Efectos del Exceso de Humedad del Suelo en el Sistema Radical y Absorción de Nitrógeno en el Maíz. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/exceso-humedad-del-suelo-en-sistema-radical>

- Intagri, 2019. La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>

- Inta-costa rica, 2015. Análisis microbiológicos de suelos. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1820.PDF>
- Jiménez, 1970. Análisis de suelos y su interpretación. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1989_49_75_89.pdf
- Juvinao, López, Moya, Torres y Ustate y, 2017 “tecnologías, procesos y problemática ambiental en la minería de arcilla”, investigación e innovación en ingenierías, vol. 8, n°. 2, 2020. doi: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.3857>
- López, 2018. biorremediación y fitorremediación en suelos contaminados. recuperado de <https://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewfile/598/615>
- Mestre, 2017. Biodiversidad de levaduras de suelo y rizósfera asociadas a especies de Nothofagus ectomicorrícicos del Bosque Andino- patagónico. Recuperado de: <https://crubweb.uncoma.edu.ar/docbiologia/Descargas/TESIS%20APROBADAS/MESTRE.pdf>
- Quintero, 2002. Dosificación del fosforo según tipos de suelo. Recuperado de: [http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/C6F5001B54460C798525799C0058C6CC/\\$FILE/nota2.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/C6F5001B54460C798525799C0058C6CC/$FILE/nota2.pdf).
- Ramírez, (1997). propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos. recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>
- Red por la justicia ambiental en Colombia. (2018) herramientas jurídicas. recuperado de <https://justiciaambientalcolombia.org/herramientas-juridicas/>.
- Rojas & Peña, 2018. Densidad aparente. Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. Recuperado de: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta- densidad aparente.pdf>
- Roma, 2017. Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf>
- Ryenos, 2019. leguminosas, regeneración para el suelo. recuperado de: <https://viaorganica.org/leguminosas/>
- Salamanca & Sadeghian, 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Recuperado de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf>

- Uriarte. para: *caracteristicas.co*. última edición: 27 de abril de 2020. recuperado de: <https://www.caracteristicas.co/mineria/#ixzz6rm8clktg>

- Villaroel, 1988. Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. Recuperado de: <http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/bitstream/123456789/142/1/MANUAL%20PRACTICO%20ST10.pdf>



ANEXOS


Anexo 1. Análisis físico-químicos pretratamiento.

Habitat LABORATORIO Y CONSULTORIA AMBIENTAL																																												
ANÁLISIS DE SUELOS																																												
				Fecha de Análisis: 20/06/2022 Fecha de Muestreo: 2/06/2022 No. Laboratorio: 089 Fecha de Recepción: 3/06/2022																																								
Cliente: Gabriela Carolina Higuído Ferrer Dirección: Valledupar Ciudad: Valledupar																																												
Cultivo			Variedad			Características																																						
YAGUARA			Sin especificar			Sin especificar																																						
Municipio			Finca			Lote																																						
Valledupar			Granja Piloto UPC			Sin especificar																																						
Elemento	Unidades	Valor	Clave	Parámetro	Unidades	Valor	Clave	Claves de Interpretación																																				
Potasio:	meq/100cc	0.08	D	pH:		6.28	M	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Orden No.</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>Calificaciones</td> <td>E</td> <td>A</td> <td>M</td> <td>B</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td colspan="6"><small>E: Excelente, A: Alto, M: Medio, B: Bajo, D: Deficiente</small></td> </tr> <tr> <td>Muestra Insuficiente</td> <td colspan="4">M.I</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No Detectable</td> <td colspan="4">N.D</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No Analizado</td> <td colspan="4">N.A</td> <td></td> </tr> </table>		Orden No.					Calificaciones	E	A	M	B	D	<small>E: Excelente, A: Alto, M: Medio, B: Bajo, D: Deficiente</small>						Muestra Insuficiente	M.I					No Detectable	N.D					No Analizado	N.A				
Orden No.																																												
Calificaciones	E	A	M	B	D																																							
<small>E: Excelente, A: Alto, M: Medio, B: Bajo, D: Deficiente</small>																																												
Muestra Insuficiente	M.I																																											
No Detectable	N.D																																											
No Analizado	N.A																																											
Calcio:	meq/100cc	11.99	M	C. E:	mS/cm	0.17	D																																					
Magnesio:	meq/100cc	6.51	A	Arena %:	%	0																																						
Sodio:	meq/L	0.62	M	Limo %:	%	40																																						
Aluminio:	meq/100cc	N.A	N.A	Arcilla %:	%	60																																						
C.I.C:	meq/100g	29.43	A	Textura:	Arcillo-Limoso																																							
Cloruros:	meq/L	0.74		M. Orgánica:	%	1.43																																						
Fósforo:	ppm	14	B	C.O:	%	0.83	D																																					
N-NH4:	ppm	5	D	N- Total:	N.A	N.A																																						
N-NO3:	ppm	10	D	Rel C/N:	N.A	N.A																																						
Azufre:	ppm	6	D	Sat Humedad:	%	42	A																																					
Hierro:	ppm	115	B	Sat Bases:	%	100																																						
Manganeso:	ppm	435	E	Densidad Apar:	g/cc	1.20																																						
Cobre:	ppm	0.30	B																																									
Zinc:	ppm	1.30	B																																									
Boro:	ppm	0.38	B																																									

Anexo 2. Análisis microbiológicos pretratamiento.

Habitat LABORATORIO Y CONSULTORIA AMBIENTAL			
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUELO			
Usuario:	Camilo Baquero - Gabriela Higuído		
Dirección:			
Ciudad:	Valledupar		
Análisis:	Microbiológico en suelo		
Identificación:	Suelo presiembra Yaguaró - Maíz		
Características:	Suelo color café oscuro		
Otros datos:	Universidad Popular del Cesar		
	Corregimiento: Valencia de Jesús		
Finca/Propietario:	Granja Piloto - Vereda El Cielo		
RESULTADO DEL ANÁLISIS			
ENT No.	NOMBRE CIENTÍFICO	POBLACIÓN	MÉTODO ANALÍTICO
1	<i>Bacterias Mesofilas Aerobias</i>	10 x 10 E 5 UFC/g	LBC 195
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	13 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
3	<i>Levaduras</i>	11 x 10 E 1 UFC/g	LBC 195
4	<i>Trichoderma sp.</i>	2 x 10 E 2 UFC/g	LBC 195
5	<i>Penicillium sp.</i>	3 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195

Anexo 3. Análisis físico-químicos parcelamiento 1



ANÁLISIS DE SUELOS

Fecha de Análisis	21/10/2022
Fecha de Muestreo	3/10/2022
No. Laboratorio	AFQ-345-22
Fecha de Recepción	4/10/2022


Cliente:	Camilo Baquero
Dirección:	Carrera 27 28-45 7 de agosto
Ciudad:	Valledupar


Cultivo	Variedad	Características
MAIZ	SIN ESPECIFICAR	Edad: 4 meses
Municipio	Finca	Lote
Valledupar	Granja UPC UNIVERSIDAD POPULAR DI	Muestra 01 - 090

Elemento	Unidades	Valor	Clave
Potasio:	meq/100cc	0.30	B
Calcio:	meq/100cc	15.25	A
Magnesio:	meq/100cc	5.78	A
Sodio:	meq/L	0.56	M
Aluminio:	meq/100cc	N.A	--
C.I.C:	meq/100g	16.93	M
Cloruros:	meq/L	0.44	
Fósforo:	ppm	67	A
N-NH4:	ppm	8	B
N-NO3:	ppm	5	D
Azufre:	ppm	2	D
Hierro:	ppm	123	B
Manganeso:	ppm	449	E
Cobre:	ppm	0.40	B
Zinc:	ppm	2.80	M
Boro:	ppm	0.19	D

Parámetro	Unidades	Valor	Clave
pH:		6.85	M
C. E:	mS/cm	0.20	D
Arena %:	%	33	
Limo %:	%	43	
Arcilla %:	%	24	
Textura:		Franca	
M. Orgánica:	%	3.03	
C.O:	%	1.76	B
N- Total:		N.A	
Rel C/N:		N.A	
Sat Humedad:	%	40	M
Sat Bases:	%	100	
Densidad Apar:	g/cc	1.21	


Claves de Interpretación					
Orden No.	E	A	M	B	D
Calificaciones					
Muestra Insuficiente			M.I		
No Detectable					N.D
No Analizado					N.A


 Jenny Mayorga Cardenas
 Directora Técnica
 T.P. 25006-033621


 Imelda Montañez
 Coordinadora de Calidad

LABORATORIO Y OFICINA: Carrera 23 No. 5 N-50 Mz D C1 - TEL: 3102451240 WEBSITE: <https://habitat-sostenible-laboratorio.principalwebsite.com/>
 E-MAIL: habitatsosteniblesostenible@hotmail.com VALLEDUPAR, CESAR - COLOMBIA

Anexo 4. Análisis físico-químicos parcelamiento 2



ANÁLISIS DE SUELOS

Fecha de Análisis	21/10/2022
Fecha de Muestreo	3/10/2022
No. Laboratorio	AFQ-345-22
Fecha de Recepción	4/10/2022


Cliente:	Camilo Baquero
Dirección:	Carrera 27 28-45 7 de agosto
Ciudad:	Valledupar


Cultivo	Variedad	Características
MAIZ	SIN ESPECIFICAR	Edad: 4 meses
Municipio	Finca	Lote
Valledupar	Granja UPC UNIVERSIDAD POPULAR DI	Muestra 02 - 091

Elemento	Unidades	Valor	Clave
Potasio:	meq/100cc	0.31	B
Calcio:	meq/100cc	12.30	A
Magnesio:	meq/100cc	5.70	A
Sodio:	meq/L	0.56	M
Aluminio:	meq/100cc	N.A	--
C.I.C:	meq/100g	22.41	A
Cloruros:	meq/L	0.44	
Fósforo:	ppm	48	A
N-NH4:	ppm	8	B
N-NO3:	ppm	5	D
Azufre:	ppm	1	D
Hierro:	ppm	120	B
Manganeso:	ppm	449	E
Cobre:	ppm	0.32	B
Zinc:	ppm	2.61	M
Boro:	ppm	0.1	D

Parámetro	Unidades	Valor	Clave
pH:		6.30	M
C. E:	mS/cm	0.20	D
Arena %:	%	10	
Limo %:	%	60	
Arcilla %:	%	30	
Textura:		Franco-Arcillo-Li	
M. Orgánica:	%	3.03	
C.O:	%	1.42	B
N- Total:		N.A	
Rel C/N:		N.A	
Sat Humedad:	%	43	M
Sat Bases:	%	100	
Densidad Apar:	g/cc	1.16	


Claves de Interpretación					
Orden No.	E	A	M	B	D
Calificaciones					
Muestra Insuficiente			M.I		
No Detectable					N.D
No Analizado					N.A


 Jenny Mayorga Cardenas
 Directora Técnica
 T.P. 25006-033621


 Imelda Montañez
 Coordinadora de Calidad

LABORATORIO Y OFICINA: Carrera 23 No. 5 N-50 Mz D C1 - TEL: 3102451240 WEBSITE: <https://habitat-sostenible-laboratorio.principalwebsite.com/>
 E-MAIL: habitatsosteniblesostenible@hotmail.com VALLEDUPAR, CESAR - COLOMBIA

Anexo 5. Análisis físico-químicos parcelamiento 3



ANÁLISIS DE SUELOS

Fecha de Análisis	21/10/2022
Fecha de Muestreo	3/10/2022
No. Laboratorio	AFQ-345-22-1
Fecha de Recepción	4/10/2022


Cliente:	Camilo Baquero
Dirección:	Carrera 27 28-45 7 de agosto
Ciudad:	Valledupar

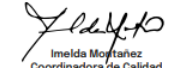
Cultivo	Variedad	Características
MAIZ	SIN ESPECIFICAR	Edad: 4 meses
Municipio	Finca	Lote
Valledupar	Granja UPC UNIVERSIDAD POPULAR DI	Muestra 03 - 092

Elemento	Unidades	Valor	Clave
Potasio:	meq/100cc	0.38	B
Calcio:	meq/100cc	13.74	A
Magnesio:	meq/100cc	6.74	A
Sodio:	meq/L	1.21	M
Aluminio:	meq/100cc	N.A	--
C.I.C:	meq/100g	23.46	A
Cloruros:	meq/L	0.74	
Fósforo:	ppm	86	A
N-NH4:	ppm	3	D
N-NO3:	ppm	10	D
Azufre:	ppm	1	D
Hierro:	ppm	138	B
Manganeso:	ppm	471	E
Cobre:	ppm	0.50	B
Zinc:	ppm	3.30	M
Boro:	ppm	0.23	D

Parámetro	Unidades	Valor	Clave
pH:		7.08	A
C. E:	ms/cm	0.37	D
Arena %:	%	4	
Limo %:	%	60	
Arcilla %:	%	36	
Textura:		Franco-Arcillo-Li	
M. Orgánica:	%	3.06	
C.O:	%	1.78	B
N- Total:		N.A	
Rel C/N:		N.A	
Sat Humedad:	%	43	M
Sat Bases:	%	100	
Densidad Apar:	g/cc	1.16	

Orden No.	
Calificaciones	E A M B D
Muestra insuficiente	M.I
No Detectable	N.D
No Analizado	N.A


 Jenny Mayrugg Cardenas
 Directora Técnica
 T.P. 25006-033621


 Imelda Montañez
 Coordinadora de Calidad

LABORATORIO Y OFICINA: Carrera 23 No. 5 N-50 Mz D C1 - TEL: 3102451240 WEBSITE: <https://habitat-sostenible-laboratorio.principalwebsite.com/>
 E-MAIL: habitatosteniblesostenible@hotmail.com VALLEDUPAR, CESAR - COLOMBIA

Anexo 6. Análisis microbiológico parcelamiento 1

RESULTADO DEL ANÁLISIS			
ENT No.	NOMBRE CIENTÍFICO	POBLACIÓN	MÉTODO ANALÍTICO
1	<i>Bacterias Mesofilas Aerobias</i>	10 x 10 E 5 UFC/g	LBC 195
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	13 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
3	<i>Levaduras</i>	11 x 10 E 1 UFC/g	LBC 195
4	<i>Trichoderma sp.</i>	2 x 10 E 2 UFC/g	LBC 195
5	<i>Penicillium sp.</i>	3 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
6	<i>Aspergillus sp.</i>	2 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195

Anexo 7. Análisis microbiológico parcelamiento 2



ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE SUELO

Usuario:	Camilo Baquero - Gabriela Higuídio
Dirección:	
Ciudad:	Valledupar
Análisis:	Microbiológico en suelo
Identificación:	Suelo presiembra Yaguaro - Maíz
Características:	Suelo color café oscuro
otros datos:	Universidad Popular del Cesar
	Corregimiento: Valencia de Jesús
Finca/Propietario:	Granja Piloto - Vereda El Cielo


RESULTADO DEL ANÁLISIS

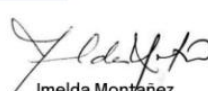
ENT No.	NOMBRE CIENTÍFICO	POBLACIÓN	MÉTODO ANALÍTICO
1	<i>Bacterias Mesofilas Aerobias</i>	10 x 10 E 5 UFC/g	LBC 195
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	13 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
3	<i>Levaduras</i>	11 x 10 E 1 UFC/g	LBC 195
4	<i>Trichoderma sp.</i>	2 x 10 E 2 UFC/g	LBC 195
5	<i>Penicillium sp.</i>	3 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
6	<i>Aspergillus sp.</i>	2 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195

Anexo 8. Análisis microbiológico parcelamiento 3

RESULTADO DEL ANÁLISIS			
ENT No.	NOMBRE CIENTÍFICO	POBLACIÓN	MÉTODO ANALÍTICO
1	<i>Bacterias Mesofilas Aerobias</i>	10 x 10 E 5 UFC/g	LBC 195
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	13 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
3	<i>Levaduras</i>	11 x 10 E 1 UFC/g	LBC 195
4	<i>Trichoderma sp.</i>	2 x 10 E 2 UFC/g	LBC 195
5	<i>Penicillium sp.</i>	3 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
6	<i>Aspergillus sp.</i>	2 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
7	<i>Mucor sp.</i>	1 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
8	<i>Fusarium sp.</i>	2 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195

OBSERVACIONES:	<i>Trichoderma sp</i> es un hongo benéfico para los cultivos, que actúa como biocontrolador. <i>Fusarium sp</i> es un hongo fitopatógeno en diversos cultivos.
-----------------------	--


 Jenny Mayorga Gárdenas
 Directora Técnica
 T.P. 25006-033621


 Imelda Montañez
 Coordinadora de Calidad

Anexo 9. Parámetros en grados de acidez o alcalinidad

Parámetros en grados de acidez o alcalinidad	
Interpretación	Rango de Ph
Extremadamente ácido	< 4.5
Fuertemente ácido	4.6–5.0
Medianamente ácido	5.1–6.0
Ligeramente ácido	6.1–6.5
Neutro	6.6–7.3
Ligeramente alcalino	7.4–7.8
Medianamente alcalino	7.9–8.4
Fuertemente alcalino	8.5–9.0
Extremadamente alcalino	> 9.0

Fuente: IGAC. Laboratorio de suelo.

Anexo 10. Parametros para interpretacion de conductividad electrica

Parámetros para interpretación de conductividad eléctrica (CE).	
Niveles en <u>Milimhos</u> / Cm	Interpretación
0-2	No hay problemas de salinidad
2-4	Ligeramente salino
4-8	Moderadamente salino
8-16	Fuertemente salino
>16	Extremadamente salino

Fuente: (Ramírez 1997).Recuperado por (Jaramillo Daniel 2016)

Anexo 11. Interpretación de % nitrogeno total

Nitrógeno total			
Clima	Interpretación de % nitrógeno total		
	Bajo	Medio	Alto
Frio	< 0,25	0,25 a 0,50	> 0,50
Medio	< 0,15	0,15 a 0,25	> 0,25
Cálido	< 0,10	0,10 a 0,20	> 0,20

Fuente: (Ramírez 1997).Recuperado por (Jaramillo Daniel 2016)

Anexo 12. Parametro para medir la C.I.C

Parámetros para medir la C.I.C.	
< a 10 <u>miniequivalente</u> / 100 de suelo	Baja
10 a 20 <u>miniequivalente</u> / 100 gramos de suelo	Media
> a 20 <u>miniequivalente</u> / 100 gramos de suelo	Alta

Fuente: (Ramírez 1997).Recuperado por (Jaramillo Daniel 2016)



Anexo 13. Niveles de magnesio en el suelo su interpretación

Niveles de magnesio en los suelos, su interpretación	
Clasificación	Mg intercambiable me/100 gr suelo
Muy bajo	< 0.5
Bajo	0.51 - 1.5
Moderado	0.16 - 4.0
Alto	4.10 - 8.0
Muy alto	> 8.0

Fuente: Villaroel, 1988

Anexo 14. Niveles de calcio en los suelos, su interpretación

Niveles de calcio en los suelos, su interpretación.	
Clasificación	Ca intercambiable me/100 gr suelo
Muy bajo	< 2.0
Bajo	2.0 - 5.0
Moderado	5.1 - 10.0
Alto	10.1 - 20.0
Muy alto	> 20.0

Fuente: Villaroel, 1988

Anexo 15. Fosforo aprovechable en el suelo en ppm

Fosforo (P) aprovechable en el suelo en ppm	
< 20 ppm	Indica bajo nivel de fosforo en el suelo
20 a 30 ppm	Indica medio nivel de fosforo en el suelo
>30 ppm	Indica alto nivel de fosforo en el suelo

Fuente: (Ramírez 1997).Recuperado por (Jaramillo Daniel 2016)

Anexo 16. Niveles de fertilidad e interpretación de potasio en los suelos.

Niveles de fertilidad e interpretación de potasio en los suelos.	
Clasificación	K INTERCAMBIABLE me/100 gr suelo
Muy bajo	< 0.25
Bajo	0.26 - 0.50
Moderado	0.51 - 0.75
Alto	0.76 - 1.00
Muy alto	> 1.00

Fuente: Villaroel, 1988

Anexo 17. Clasificación para materia orgánica

Cuadro 4. Clasificación tentativa para materia orgánica.

Clasificación	Contenido M. O. %
Muy bajos	0.0 - 1.0
Bajos	1.1 - 2.0
Moderados	2.1 - 4.0
Altos	4.1 - 8.0
Muy altos	> 8.0

Fuente: Villaroel, 1988

