



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**LA ACREDITACIÓN ES
EL COMPROMISO DE TODOS**

**ANÁLISIS COMPARATIVO PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS
DEGRADADOS POR AGRICULTURA EN LA FINCA VILLA BONITA EN EL
MUNICIPIO DE SAN DIEGO-CESAR**



AUTOR:

MARÍA CRISTINA LÓPEZ ALTAMAR

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR
2021**



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**LA ACREDITACIÓN ES
EL COMPROMISO DE TODOS**

**ANÁLISIS COMPARATIVO PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS
DEGRADADOS POR AGRICULTURA EN LA FINCA VILLA BONITA EN EL
MUNICIPIO DE SAN DIEGO-CESAR**

**PROYECTO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
SANITARIO**

MARÍA CRISTINA LÓPEZ ALTAMAR

**DIRECTOR:
JOSÉ MAURICIO PÉREZ ROYERO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2021



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**LA ACREDITACIÓN ES
EL COMPROMISO DE TODOS**

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Valledupar, 2021.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**LA ACREDITACIÓN ES
EL COMPROMISO DE TODOS**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios que me regalo la vida y me ha guiado en este camino para alcázar mis objetivos. A mi madre Arlenis Altamar A. A mi padre Henry López M. y mis hermanos, que han sido mi ejemplo de responsabilidad, trabajo y compromiso, quienes siempre me han brindado apoyo, cariño y me han impulsado a ser mejor aun cuando creo que nada está bien.

Gracias a la Universidad Popular del Cesar y a los docentes de la facultad de ciencias y tecnologías que han inculcado en mí grandes conocimientos, los cuales hoy me permiten obtener el título de ingeniera ambiental y sanitaria.



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACION	14
2. JUSTIFICACION	15
3. OBJETIVOS	16
3.1. OBJETIVO GENERAL:	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	16
4. MARCO REFERENCIAL	17
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	17
4.2. MARCO TEÓRICO	22
4.2.1. Suelo	22
4.2.2. Degradación del suelo	23
4.2.3. Recuperación de Suelos	25
4.2.4. Técnicas de recuperación de Suelos	26
4.2.5. Parámetros de análisis del suelo	30
4.3. MARCO CONCEPTUAL	32
4.4. MARCO CONTEXTUAL	34
4.5. MARCO LEGAL	36
5. MARCO METODOLOGICO	40
5.1. Tipo de Investigación	40
5.2. Población	41



En el desarrollo de este proyecto ambiental se involucra directamente la población que se encuentra en el lugar de estudio que es Finca Villa Bonita ubicada en el municipio de San Diego en el departamento del Cesar, la cual cuenta con una extensión de 3,5 Hectáreas de tierra. Indirectamente se pueden beneficiar con los resultados de esta investigación los habitantes en zonas cercanas al lugar de estudio. 41

5.3. Muestra 41

5.4. Desarrollo metodológico..... 41

5.4.1. Etapa 1: Establecimiento de los parámetros Físico–químicos del suelo degradado por la agricultura en la Finca Villa Bonita. 41

5.4.2. Etapa 2: Evaluación mediante prueba piloto de la eficiencia de tres técnicas (enmienda orgánica, fitorremediación y estiércol natural) para la recuperación de suelos degradados por agricultura, en el área de estudio. 46

5.4.3. Etapa 3: Proponer la utilización de la técnica más eficiente como alternativa en la recuperación del suelo, según los resultados obtenidos en la prueba piloto realizada. 48

Actividad 3.1. Se analizaron de los resultados de las tres técnicas aplicadas 48

6. ANALISIS DE RESULTADOS 50

6.1 Etapa 1: Establecimiento de los parámetros Físico–químicos del suelo degradado por la agricultura en la Finca Villa Bonita. 50

6.1.1 Análisis fisicoquímico porcentaje de humedad 55

..... 55

6.1.2 Análisis fisicoquímico de PH 56

6.1.3 Análisis fisicoquímico de Nitrógeno total 57



6.1.4	Análisis fisicoquímico de materia orgánica	58
6.2	Etapa 2: Evaluación mediante prueba piloto de la eficiencia de tres técnicas (enmienda orgánica, fitorremediación y estiércol natural) para la recuperación de suelos degradados por agricultura, en el área de estudio.....	60
6.2.1	Recuperación a través de enmienda orgánica	60
6.2.2	Recuperación a través de fitorremediación	65
6.2.3	Recuperación a través de estiércol.....	69
6.3	Etapa 3: Proponer para la utilización de la técnica más eficiente como alternativa en la recuperación del suelo, según los resultados obtenidos en la prueba piloto realizada.....	71
	BIBLIOGRAFÍA	83
	ANEXO A	87
	RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO DE PARAMETROS FISISCOQUIMICOS INICIALES. EN EL LABORATORIO NANCY FLÓRES.....	87
	ANEXO B	88
	RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO DE PARAMETROS FISISCOQUIMICOS FINALES. EN EL LABORATORIO NANCY FLÓRES	88



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Procesos de degradación de suelos	24
Ilustración 2 Representación esquemática de los distintos mecanismos de fitocorrección	28
Ilustración 3 Acervos genéticos del frijol común.....	29
Ilustración 4 Triangulo de textura	31
Ilustración 5 ubicación Geográfica de la Finca Villa Bonita	35
Ilustración 6 Vista satelital ubicación de la Finca Villa Bonita	36
Ilustración 7 Procedimiento a seguir para obtener una muestra de suelo que represente el área que desea analizar con fines agropecuarios.	45
Ilustración 8 Distribución de las alternativas de recuperación del suelo en la Finca Villa Bonita	47
Ilustración 9 Vista panorámica Finca villa Bonita	51
Ilustración 10 Caracterización del suelo	52
Ilustración 11 Vista de las muestra 1 y 2	53
Ilustración 12 Vista de las muestra 3 y 4	53
Ilustración 13 Vista de la muestra 5	53
Ilustración 14 Residuos de vegetales usados en la enmienda orgánica	61
Ilustración 15 Residuos de cobertura vegetal usada en la enmienda orgánica.....	61
Ilustración 16 Pilas para por enmienda orgánica.....	62
Ilustración 17 Volteo de pila	63
Ilustración 18 Comparación de porción de suelo con enmienda orgánica y sin enmienda orgánica	64
Ilustración 19 germinación de la especie	66
Ilustración 20 Crecimiento de la especie	68
Ilustración 21 Estiércol utilizado para la recuperación del suelo degradado	69



Ilustración 22 Toma de estiércol ovino	70
--	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 niveles de materia orgánica (%) según el tipo de textura del suelo.....	32
Tabla 2 Legislación Vigente	36
Tabla 3 parámetros a desarrollar	42
Tabla 4. Comparación del análisis fisicoquímico con respecto a los límites permisibles	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5. Análisis comparativo de las técnicas de recuperación	71
Tabla 6 Comparativo parámetros iniciales y finales	74

LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 1 Análisis porcentaje de humedad	55
Grafico 2 Análisis del pH	56
Grafico 3 Análisis fisicoquímico del nitrógeno	57
Gráfico 4. Análisis niveles de PH	73
Gráfico 5 Comparativo parámetros iniciales y finales.....	74



INTRODUCCION

A lo largo de la historia, la producción agropecuaria ha sido una de las actividades principales para el hombre, a su vez uno de los mayores contaminantes de los ecosistemas por su uso inadecuado, además, tiene unos profundos efectos en el medio ambiente en conjunto, consecuentemente esta actividad, es una de las principales fuentes de contaminación del suelo por nitratos, fosfatos y plaguicidas. También son la mayor fuente antropogénica de gases responsables del efecto invernadero, metano y óxido nitroso, estos contribuyen en gran medida a otros tipos de contaminación del aire y del agua. Siendo por lo tanto, los métodos agrícolas y su alcance la principal causas de la pérdida de biodiversidad del mundo. (CORPOCESAR, 2019)

La agricultura afecta también a la base de su propio futuro a través de la degradación de la tierra, la salinización, el exceso de extracción de agua y la reducción de la diversidad genética agropecuaria. Sin embargo, las consecuencias a largo plazo de estos procesos son difíciles de cuantificar. Después de perturbaciones antropogénicas de intensidad moderada, los suelos pueden recuperarse, pero si los disturbios son severos, como la compactación y pérdida de suelo producen condiciones que dificultan la regeneración de la vegetación y detienen los procesos de sucesión. Esos sitios suelen estar dominados por especies invasoras, como pastos y helechos, que compiten con las especies nativas por la humedad del suelo, los nutrientes y la luz.

Hoy en día, es posible la elaboración de métodos de producción sostenible, los cuales pueden atenuar los efectos de la agricultura sobre el suelo y el medio ambiente. No cabe duda que, utilizado métodos de recuperación viables, económicos y de fácil acceso se da un paso para resarcir los impactos de esta actividad tan impactante para el mundo.

En esta investigación, se utilizaron tres métodos para la recuperación de suelos, que mediante estudios previos a través de análisis fisicoquímicos permitieron conocer las



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**LA ACREDITACIÓN ES
EL COMPROMISO DE TODOS**

condiciones actuales de los suelos degradados en la Finca Villa Bonita, no obstante, mediante la realización de una prueba piloto fue posible denota que con las técnicas de recuperación es posible atenuar y resarcir los impactos causados en un suelo alcalino, y con alto grado de nutrientes que impiden la siembra de cultivos.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia una de las actividades económicas con una gran importancia es la actividad agropecuaria, gracias las riquezas de nuestro territorio nacional, donde de acuerdo con el IDEAM (2015), los suelos con vocación agrícola del país abarcan cerca del 19,3% del territorio, equivalente a 22.072.343 ha. De ellos, el 60,4% presenta algún grado de erosión, principalmente en grados moderado y ligero.

Teniendo en cuenta lo anterior, si este tipo de prácticas agropecuarias no se realizan adecuadamente, se pueden generar deterioro o degradación en los suelos. Con el paso del tiempo han ido aumentando estas prácticas que conllevan a la pérdida de fertilidad en el suelo en “un 4,6% con erosión en grado severo”, donde ya no es posible su recuperación, lo cual significa que se han perdido cerca de un millón de ha (hectáreas) en suelos con vocación agrícola” (IDEAM, 2015).

En nuestro departamento existen diferentes ecorregiones que tienen un gran potencial de zonas cultivables, en el caso particular de la Serranía del Perijá, donde está ubicado el municipio de San Diego y en la zona norte se encuentra la finca Villa Bonita, la cual es característica por cultivos de maíz y arroz, propios de esta zona.

Sin embargo, se estima que el 90% de los suelos de mayor potencial agropecuario del departamento de Cesar han sufrido procesos degradativos, representando una pérdida de su capacidad productiva y de competitividad (UNAL, 2011).

De acuerdo a lo planteado esta zona que muchos años fue productiva, hoy debido al conjunto de prácticas inadecuadas en las actividades agrícolas se ha generado pérdida en la fertilidad de estos suelos, lo que no solo trae consecuencias medio ambientales si no económicas y sociales para las personas que depende de este tipo de actividades.



Entre los procesos que más degradan el suelo, se destacan algunos sistemas de manejo agrícola los cuales, generan cambios físicos en su estructura, la pérdida de nutrientes, la salinización, acidificación y la contaminación son indicadores de procesos de degradación química que sufren los suelos como consecuencia de prácticas agrícolas inadecuadas. (Xiong, 2015)

Adicional a esto, es preocupante la importancia que tienen los suelos en esta zona y la cantidad de problemáticas que trae consigo que muchas veces no son evaluadas como; deslizamientos, erosión o pérdida del valor del suelo; que representa para la comunidad pérdidas significativas en los ecosistemas.

En donde debe hacerse énfasis es la pérdida de los servicios ecosistémicos asociados a los suelos, entre ellos, provisión, regulación, soporte culturales y su relación con la pérdida de materia orgánica y nutrientes, la disminución de la productividad con la seguridad alimentaria y desarrollo del campo (IDEAM, 2015)

La finca Villa Bonita en el municipio de San Diego, es de uso principalmente agropecuario, donde se cultivan yuca, tomate, frijol y maíz, entre otros. Con el paso del tiempo se ha ido deteriorando la calidad del suelo, debido principalmente al uso intensivo de fertilizantes y malas prácticas ambientales, por el desconocimiento de la población; en la actualidad no existen investigaciones de este tipo en la zona, acerca de las condiciones del suelo, lo que aumenta la importancia del desarrollo de estas investigaciones.

Se ha evidenciado que en partes de la Finca ha ido decayendo la calidad de producción de los suelos y este presenta una apariencia árida en los últimos años, que ha preocupado a la familia que residen en este territorio.



Teniendo en cuenta lo expuesto por Díaz & Pérez (2018) “la preocupación es que las actividades mal practicadas como la ganadería, la agricultura y la minería, está enfermando nuestros suelos del cesar, cambiando sus condiciones geológicas, por lo que implica el desarrollo de estas actividades, cambiando nuestros ecosistemas y desapareciendo nuestra flora y fauna nativa, restringiendo el poco desarrollo de la vida ecológica de la zona”

Este proyecto de investigación nace con el fin de evaluar tres técnicas de recuperación de suelos, que permita que esta comunidad pueda utilizar herramientas con viabilidad técnica y económica para restaurar estos suelos con poca fertilidad, de tal manera que se puede seleccionar la que represente un mayor beneficio.

1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Cuál es la mejor alternativa para la recuperación de suelos degradados por la agricultura en la Finca Villa Bonita en el Municipio de San Diego-Cesar?



2. JUSTIFICACION

En la actualidad se presenta una creciente preocupación por las diversas problemáticas medioambientales, que están generando afectaciones sociales y económicas en las diferentes comunidades; entre las de mayor significancia se encuentra la degradación de los suelos, donde tal como lo plantea Bermúdez,(2013); la incontenible presión sobre el recurso suelo ejercida por los fenómenos de crecimiento (poblacional, económico, de calidad de vida) trae consigo la pérdida anual de miles de hectáreas de terreno apto para el desarrollo vegetal que son transformadas irreversiblemente, desertizadas o erosionadas, de tal modo que resulta cada vez más importante tomar medidas preventivas o correctivas contra estos procesos.

Los cultivos agrícolas que son representativos en esta zona del Cesar, específicamente la serranía del Perijá, que han causado este deterioro han hecho que la economía se vea afectada por la pérdida de fertilidad de este tipo en esta tierra, de acuerdo a esto es de gran importancia la selección de prácticas para mitigar estos efectos.

Debido al daño que está causando la agricultura convencional sobre los seres vivos, el medio ambiente y en la calidad de vida de quienes cultivan la tierra, los campesinos, afectados económicamente por la dependencia a los insumos químicos industriales y la baja productividad del suelo, son llevados a abandonar sus tierras y a migrar a las ciudades (Agredo, 2014)

De acuerdo a esto, la recuperación de este tipo de recursos, puede representar altos costos y de capacidad técnica, por lo tanto estas tres técnicas seleccionadas como lo son la enmienda orgánica, estiércol natural y la fitoremediación, pueden resultar



eficientes y representar para la comunidad una respuesta asequible para el mejoramiento de este tipo de afectaciones.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Analizar la recuperación de suelos degradados por la agricultura en la finca Villa Bonita en el municipio de San Diego -Cesar.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Establecer los parámetros físico-químicos del suelo degradado por la agricultura en la finca villa bonita.
- ✓ Evaluar mediante prueba piloto la eficiencia de tres técnicas (enmienda orgánica, fitorremediación y estiércol natural) para la recuperación de suelos degradados por agricultura, en el área de estudio.
- ✓ Proponer la utilización de la técnica más eficiente como alternativa en la recuperación del suelo, según los resultados obtenidos en la prueba piloto realizada.



4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Zúñiga, Osorio, Cuero & Peña para el 2011, desarrollaron una *Evaluación de Tecnologías para la Recuperación de Suelos Degradados por Salinidad*, La presencia de salinidad y sodio en los suelos interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos y por lo tanto constituye uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura sostenible. Se evaluaron una serie de tecnologías no convencionales utilizadas en recuperación de suelos afectados por salinidad según la respuesta agronómica de un cultivo de maíz. Se planteó la aplicación de 3 tratamientos alternativos: 1) Biofertilizantes, 2) Biopolimeros y 3) Electromagnetismo comparados frente a la propuesta: 4) Convencional con base en la teoría del USDA (United States Department of Agriculture) de enmiendas químicas (yeso - azufre). Además de un testigo absoluto (Sólo drenaje). Los tratamientos más efectivos en cuanto respuesta fisiológica y productividad fueron los biológicos con uso de microorganismos (biofertilizantes y electromagnetismo), se incluyó la estimulación electromagnética la cual acelera la actividad microbiana para disminuir el tiempo de recuperación de suelos afectados por salinidad del suelo.

En 2015, Xiong realiza una *Recuperación y rehabilitación de suelos contaminados con elementos traza mediante la aplicación de enmiendas y el establecimiento de una cubierta vegetal natural o de una planta de crecimiento rápido (PAULOWNIA FORTUNEI)*; en la presente Tesis se llevaron a cabo dos experimentos de recuperación natural asistida de suelos contaminados con elementos traza, uno en condiciones de campo y otro en contenedores al aire libre (condiciones de semicampo). Los principales objetivos de dichos experimentos fueron: 1) el estudio del efecto de enmiendas en las propiedades químicas y bioquímicas de suelos contaminados con elementos traza; 2) la evaluación del efecto de las enmiendas en



las variaciones de las concentraciones de elementos traza biodisponibles a medio y largo plazo.

Para el 2019, Rodríguez et al. Formularon *la Bioestimulación de suelo impactado por aceite residual automotriz, y fitorremediación mediante Phaseolus vulgaris con Micromonospora echinospora y Streptomyces griseus*, El suelo impactado por 85000 ppm de aceite residual automotriz (ARA), mezcla de hidrocarburos alifáticos y aromáticos, concentración que de acuerdo con la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2003 (NOM-138), supera el límite máximo permitido de 4400 ppm, en consecuencia, cualquier valor superior inhibe la mineralización de la materia orgánica causando pérdida de la fertilidad del suelo. Una alternativa de solución para este problema, puede ser la bioestimulación (BIS) y la fitorremediación (FITO) que reducen el ARA a un valor inferior al máximo establecido por esta noma. Los objetivos de esta investigación fueron: i) BIS de suelo contaminado por 85000 ppm de ARA, ii) FITO mediante *P. vulgaris con M. echinospora y/o S. griseus* en el decremento del ARA a valor menor máximo reconocido por la NOM-138. En la BIS, la variable-respuesta fue la concentración inicial y final de ARA, en la FITO se sembró *P. vulgaris* mediante la fenología: altura de planta, longitud radical, biomasa: peso fresco/seco aéreo y radical de la plántula. Los datos experimentales se analizaron por ANOVA/Tukey HSDP<0.05% con el programa estadístico Statgraphics Centurión. Los resultados indicaron que la BIS del suelo por 85000 de ARA la decreció hasta 29000 ppm en 150 días, en la FITO mediante *P. vulgaris con M. echinospora M. echinospora y/o S. griseus* la disminuyeron hasta 1492 ppm en 180 días. Se concluye que la BIS/FITO del suelo contaminado por una relativa alta concentración de ARA, fue la alternativa para solucionar este problema ambiental.

En 2016, Velásquez & Velazque desarrollaron una *Evaluación de la eficiencia del abono orgánico obtenido de los residuos vegetales de la plaza de mercado del*



municipio de san gil en el cultivo de mandarina arrayana, en este se evaluó la eficiencia del abono compostado en el cultivo de Mandarina Arrayana considerando las variables peso total de frutos por árbol y diámetro de la copa de cada árbol. El abono fue producido a partir de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado del Municipio de San Gil. Se realizaron 3 aplicaciones del producto en dosis de 1kg a 3kg por planta, con intervalo de tiempo de 2 meses, en seis parcelas de 99 plantas, dividido en un grupo control y uno experimental.

Navas para el 2016 formulo *Alternativas y estrategias para la recuperación de suelos degradados*, la situación ha llevado que la Orinoquia colombiana solo un 38% de los suelos no presenten ningún tipo de erosión, mientras que un 39.9% sufren de erosión ligera a moderada y un 20.9% están afectados por erosión severa. Para poder lograr la conservación, el mejoramiento, la recuperación de la fertilidad y las características físicas de los suelos de los Llanos Orientales, son necesarios aportes continuos y sostenidos de materia orgánica y la utilización racional de especies y tipos de plantas que contribuyan a garantizar el adecuado reciclaje de nutrientes y la estabilidad de los sistemas de producción.

Arcilla en 2016 planteo un Análisis comparativo de la eficiencia de productos para la biorremediación de suelos contaminados con diesel (un 1202) utilizando métodos de bioestimulación y bioaumentación a escala piloto, este tuvo como objeto realizar un análisis comparativo de la eficiencia de productos para la biorremediación de suelos contaminados con diésel, utilizando métodos de bioestimulación por medio de la adición de productos comerciales OSE II (enzimas) y Triple 15 (fertilizante), bioaumentación con Environoc 101 (bacterias) y atenuación natural (sin adición de productos) a escala piloto.



La entidad CORPOCESAR (2016), desarrolla una *identificación, formulación e implementación de medidas integrales para la conservación y recuperación del recurso suelo*, se redirigió en gran medida la estrategia socioeconómica desde finales del siglo pasado, inclinándose hacia la minería a gran escala. A través del presente proyecto se pretende además beneficiar el manejo y la conservación de la biodiversidad del Departamento incrementando las poblaciones de escarabajos coprófagos (comúnmente conocidos como escarabajos estercoleros), las cuales representan un impacto tremendamente positivo para el medio ambiente, especialmente en lugares donde existen sistemas de producción bovina, gracias a las funciones ecológicas que desarrollan.

En el departamento del Cesar en el 2018 *Palomino & Farelo* realizaron un *Estudio de las propiedades edáficas relacionadas con la inclusión de gliricidia sepium en la rehabilitación de suelos degradado por la explotación de arcilla, en la vereda las casitas, Valledupar – cesar*, este estudio se llevó a cabo a través de la implementación de un diseño de bloques completamente al azar con tres tratamientos, cada uno representado por la aplicación de abono en la siembra con las dosis: (60, 30, 0) g/planta y con una repeticiones por tratamiento, establecidos en seis parcelas.

De igual forma se realizó una parcela en blanco o testigo en la cual se evaluaron las variables de respuesta planteadas como objetivo de la investigación, con el fin de realizar una comparación entre los avances que presenta la rehabilitación natural en el área de estudio y la evolución generada por los tratamientos aplicados

En el 2018 *Díaz & Pérez* desarrollaron una *Caracterización de los suelos en los municipios de la Jagua de ibirico y Becerril centro del departamento del Cesar*, en esta plantearon que el suelo es un cuerpo natural continuo, formado por materiales



minerales y orgánicos con propiedades que reflejan el impacto de los factores de formación (material de origen, clima, materia orgánica, hombre, topografía y tiempo). En general, los suelos permanecen en constante proceso de cambio, el cual se expresa mediante la diferenciación de los horizontes genéticos al llevarse a cabo los procesos de formación del suelo.

Los sistemas de clasificación se basan en propiedades del suelo definidas en términos de horizontes, propiedades y materiales de diagnóstico que son significativos para el uso y manejo de estos. Sin embargo, una vez que se realiza el cambio de uso del suelo, las propiedades físicas pueden cambiar y perderse el horizonte superficial. Por una parte, esto desorienta la clasificación del suelo y por otra, influye en las actividades agrícolas.

*Díaz en el 2017 planteo **Remediación de suelos alterados por actividad de minería del carbón a cielo abierto, mediante aplicación de biochar procedente de residuos biomásicos de la palma de aceite en la zona carbonífera del departamento del Cesar,** en el presente trabajo contribuye a profundizar en el conocimiento científico de los suelos mineros en la Zona Carbonífera del Departamento del Cesar y en el aprovechamiento del biochar obtenido a partir de residuos del cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) y su aplicación como enmienda para remediar propiedades físicas y químicas de suelos mineros. En el primer capítulo se aborda de manera introductoria características propias de la Zona Carbonífera en el Departamento del Cesar (Colombia). Teniendo en cuenta variables de climatología, geología, geomorfología, suelos y sus atributos, vegetación, y aspectos socioeconómicos de la región.*

En el 2019 CORPOCESAR formula la, *Restauración Ecológica Integral del Cesar: Plan de Acción Institucional 2020-2023*, Este plan contempla la transcendia de la



resiliencia territorial como estrategia ante los escenarios climáticos globales, las condiciones ambientales regionales, la vulnerabilidad territorial existente, y las diferentes amenazas que en general impactan sobre la oferta de bienes y servicios ambientales demandados, perturbando los ecosistemas y contribuyendo a la degradación de las cinco (5) Ecorregiones estratégicas que conforman el territorio departamental del Cesar, plataforma de tales servicios y el capital natural de la Economía ambiental departamental y su Producto interno Bruto.

Es así como, todos los programas y proyectos que conforman las acciones operativas del Plan, están planificadas para que, a través de sus metas, se logre alcanzar una gestión dinamizadora del estado de los Recursos Naturales, verificable mediante el agregado de indicadores del Sistema de información ambiental – SIASIPGA, con el propósito de consolidar la sostenibilidad ambiental regional, para sustentar el desarrollo económico e impactar en el desarrollo social del Cesar.

4.2. MARCO TEÓRICO

4.2.1. Suelo

El suelo, la capa más superficial de la corteza terrestre, constituye uno de los recursos naturales más importantes con el que contamos al ser el substrato que sustenta la vida en el planeta. Desde el punto de vista edáfico, un suelo es un cuerpo natural tridimensional formado por la progresiva alteración física y química de un material original o roca madre a lo largo del tiempo, bajo unas condiciones climáticas y topográficas determinadas y sometido a la actividad de organismos vivos (Ortiz, Sanz, Dorado, & Villar, 2007).

Los suelos son indispensables y determinantes para la estructura y el funcionamiento de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes, así como para la conservación de la



biodiversidad. Esto en razón de que son parte esencial de los ciclos biogeoquímicos, porque en ellos hay distribución, transporte, almacenamiento y transformación de materiales y energía, necesarios para la vida en el planeta (IDEAM, 2015).

El suelo es considerado como un componente del ambiente y renovable en el largo plazo. Esto se fundamenta en que el tiempo necesario para que se forme un centímetro de suelo depende de las condiciones climáticas, geológicas, bióticas y topográficas, pero normalmente puede tomar cientos o miles de años (IDEAM, 2015).

4.2.2. Degradación del suelo

Un suelo se puede degradar al acumularse en él sustancias a niveles tales que alteren negativamente su comportamiento, originando su degradación química que provoca la pérdida parcial o total de su productividad y un daño o alteración de los organismos que habitan en él. (Xiong, 2015).

El conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo convierten en un sistema clave en los ciclos biogeoquímicos superficiales, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento de los contaminantes, lo que constituye la capacidad de depuración del suelo. (Xiong, 2015).

Tipos de degradación del suelo según el IDEAM (2015):

- a. En la degradación **física** se destaca la erosión y la compactación; la primera es el objeto de este estudio y consiste en la pérdida físico-mecánica del suelo a causa del agua o del viento con daño en sus funciones y servicios ecosistémicos...

- b. En la degradación **química** se resalta la salinización de los suelos, la acidificación y la contaminación, debido en general al uso excesivo de riego y fertilizantes y como consecuencias de las actividades mineras e industriales
- c. la degradación **biológica**, el proceso de degradación más importante es la pérdida de materia orgánica, que influye en la disminución de la actividad biológica y en procesos de descomposición y mineralización.

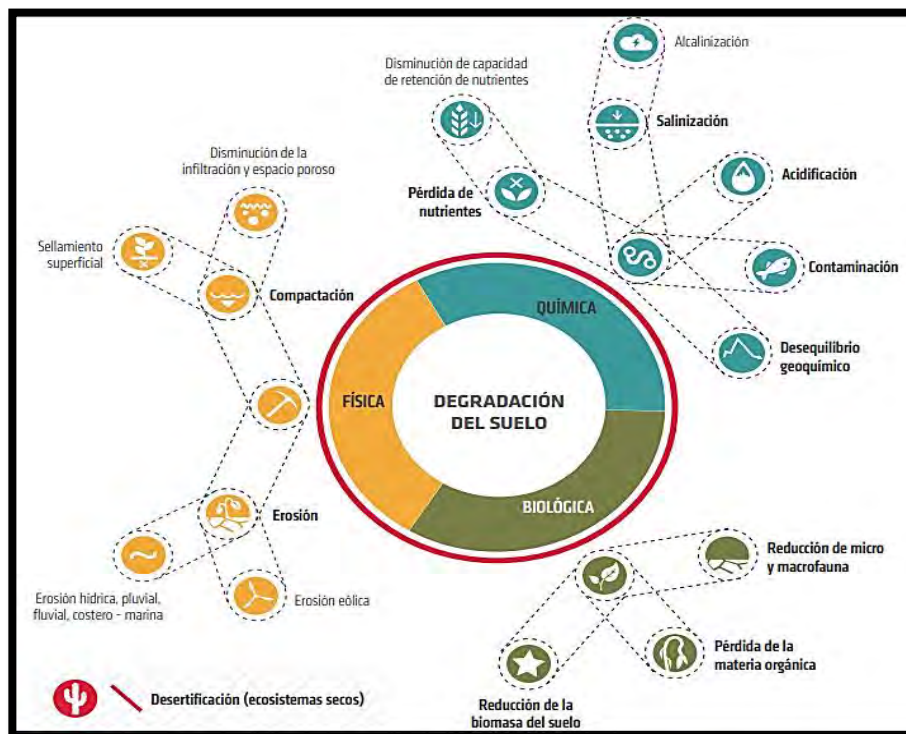


Ilustración 1 Procesos de degradación de suelos.

Fuente: (IDEAM, 2015)

4.2.2.1. Suelos degradados por la agricultura

Las amenazas que afectan a la salud del suelo es su degradación, que resulta de la acción de múltiples procesos que ocasionan la pérdida o disminución de la



productividad y afectan sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas. (Xiong, 2015).

El hombre, con objeto de proteger los cultivos frente al efecto pernicioso de múltiples organismos vivos (insectos, hongos, nematodos, malas hierbas, etc.) y aumentar la producción viene utilizando desde hace décadas productos fitosanitarios como plaguicidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes. Una vez aplicados, son absorbidos por las plantas o sufren procesos de adsorción, volatilización, lavado y degradación biótica y abiótica en el suelo que conducen a la formación de nuevos productos, en ocasiones más móviles, persistentes y más peligrosos que los compuestos de partida, que son susceptibles de contaminar los suelos, las aguas y pasar a la cadena trófica (Ortiz, Sanz, Dorado, & Villar, 2007).

Las principales causas de la degradación de los suelos agrícolas inducidas por los humanos son: (IDEAM, 2015)

- a. La disminución de la materia orgánica por un uso perpetuo y de largo plazo en prácticas agrícolas, las cuales crean un efecto negativo sobre el ecosistema.
- b. La disminución de nutrientes que se produce como resultado de presupuestos negativos de las concentraciones de nitrógeno y fósforo y potasio (presupuestos menores de 20 a 40 kg por hectárea por año).
- c. La salinización secundaria de las tierras bajo riego.
- d. La conversión de las mejores tierras hacia otros usos.

4.2.3. Recuperación de Suelos

La recuperación de los suelos contaminados con ET supone una difícil tarea por varias razones: (Xiong, 2015)

- a) la toxicidad de los mismos



- b) su resistencia (no pueden ser degradados por los microorganismos, al contrario que los contaminantes orgánicos)
- c) su relativa inmovilidad en el suelo

La selección de la técnica o conjunto de técnicas a aplicar para recuperar un suelo contaminado, va a depender fundamentalmente del nivel de limpieza deseado, de la duración de las tareas de limpieza, de la cantidad y de la forma en que se encuentren los contaminantes, de las características de la zona afectada y del coste de las operaciones (Xiong, 2015)

4.2.4. Técnicas de recuperación de Suelos

4.2.4.1. Estiércol natural

Está formado por las deyecciones sólidas y líquidas de los animales, mezclados con productos que les sirva de lechos o camas. Cuando el estiércol es empleado tal y como se retira de los establos se denominan estiércoles frescos los cuales almacenados y distintamente tratados entran en un proceso de fermentación que les hace variar su aspecto y composición, se debe tener en cuenta que este tipo de estiércol semi- tratado completan su proceso fermentativo después de ser aplicados en el suelo, lo que trae como consecuencia la acidificación de los suelos y cambios en el pH al igual que aumento en la temperatura, lo que se ve reflejado en el desarrollo normal de las plantas. (Velasquez & Veslazque, 2016)

Los excrementos de las palomas y gallinas denominadas Polonia y gallinaza son abonos que contienen elementos fertilizantes, nitrógeno, ácido sulfúrico y potasa que oscilan entre 1 y 2% de materia orgánica. (Velasquez & Veslazque, 2016)



4.2.4.2. Abonos compostados o enmiendas orgánicas

Estos abonos son generados a partir de residuos como basuras, desechos de cosechas o animales muertos, cenizas procedentes de los subproductos de la leña, cascara de hortalizas y frutas. Para la creación del abono compostado, estos desechos deben ser degradados dentro de un proceso aeróbico (compost), con el objeto de que su poder nutritivo para el suelo no sea nulo una característica muy particular de los abonos orgánicos es que los nutrientes, a excepción del potasio, se encuentran predominantemente en forma orgánica y por lo tanto en forma insoluble, en particular en los residuos sólidos. (Velasquez & Veslazque, 2016)

Por el contrario, aquellos presentes en los residuos líquidos están presentes en forma soluble; por lo tanto, para ser absorbidos por las plantas deben transformarse a la forma inorgánica mediante la descomposición de la materia orgánica o mineralización. Así se produce una lenta liberación de nutrientes para la solución del suelo. (Velasquez & Veslazque, 2016)

Los residuos compostados están siendo extensivamente empleados para revegetar y rehabilitar suelos marginales y de baja calidad. Entre los beneficios de la aplicación de composts pueden citarse: mejora de la calidad del suelo, reducción de la erosión, mejora del establecimiento vegetal, inmovilización de elementos tóxicos y aporte de microorganismos. Lugares como vertederos, taludes de carretera, minas a cielo abierto y otros, han sido recuperados con el empleo de composts, con dosis de 50 a 350 t/ha (Diaz, 2017)

4.2.4.3. Fitorremediación

La fitorremediación es una metodología dentro de la biorremediación que consiste en el uso de especies vegetales que debido a su capacidad de absorber, volatilizar, tolerar

y acumular altas concentraciones de contaminantes permiten la remoción de los mismos; esta práctica se diferencia de otras ya que tiene las características ser económica, no compleja y limpia ya que no afecta la estructura del suelo, ni utiliza reactivos químicos. La aplicación de esta técnica se basa en prácticas agronómicas comunes que buscan acercarse al estado óptimo del recurso, este entendido como la capacidad del suelo de realizar sus funciones de la mejor manera (Lazaro, 2008).

Esta estrategia presenta las ventajas de que se pueden realizar in situ, es decir sin necesidad de transportar el suelo o sustrato contaminado, son de bajo coste, permiten su aplicación, tanto a suelos como a aguas, sólo requieren prácticas agronómicas convencionales, actúan positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, y son ambientalmente aceptables, debido a que se basan en la formación de una cubierta vegetal (Lazaro, 2008).

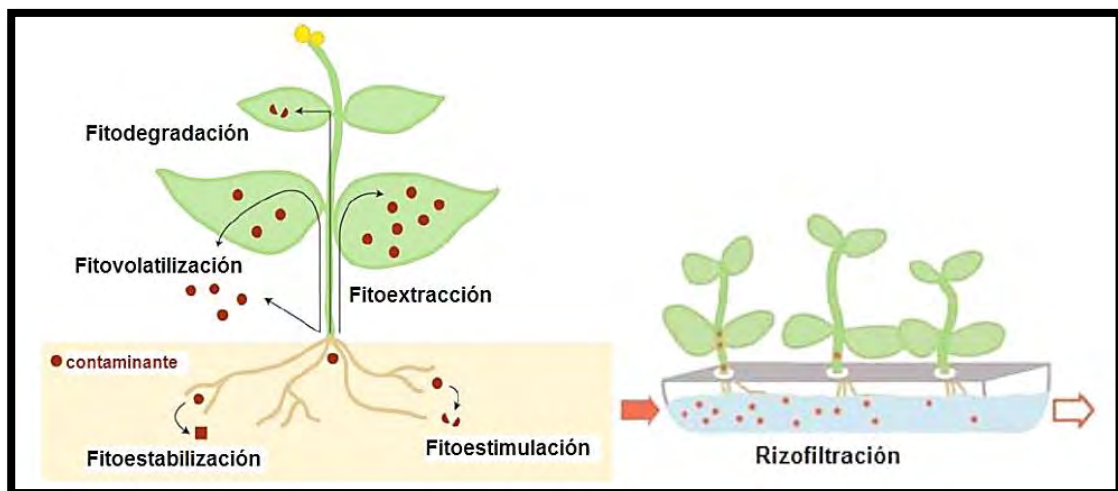


Ilustración 2 Representación esquemática de los distintos mecanismos de fitocorrección

Fuente: (Lazaro, 2008)

- ***Phaseolus vulgaris***



El frijol común, *Phaseolus vulgaris* es una especie autogama diploide de la familia *Fabaceae*, el nicho ecológico del frijol común está clasificado como bosque subhúmedo pre montano, con estaciones húmedas y secas bien definidas rodeado de matorrales arbustivos o arboles pequeños, este sobrevive como una liana anual de libre crecimiento, pero también tiene el potencial de actuar como una especie invasora y fácilmente se establece en ambientes perturbados (Barrera, 2016).

Durante la temporada de lluvias el frijol silvestre crece activamente, la competencia de la vegetación circundante es intensa y la luz es limitante. Una fase vegetativa vigorosa expresada en su hábito trepador sirve para asegurar su supervivencia frente a la competencia. El ciclo de crecimiento del frijol silvestre tiene una duración de 6 a 10 meses en los trópicos (Barrera, 2016).

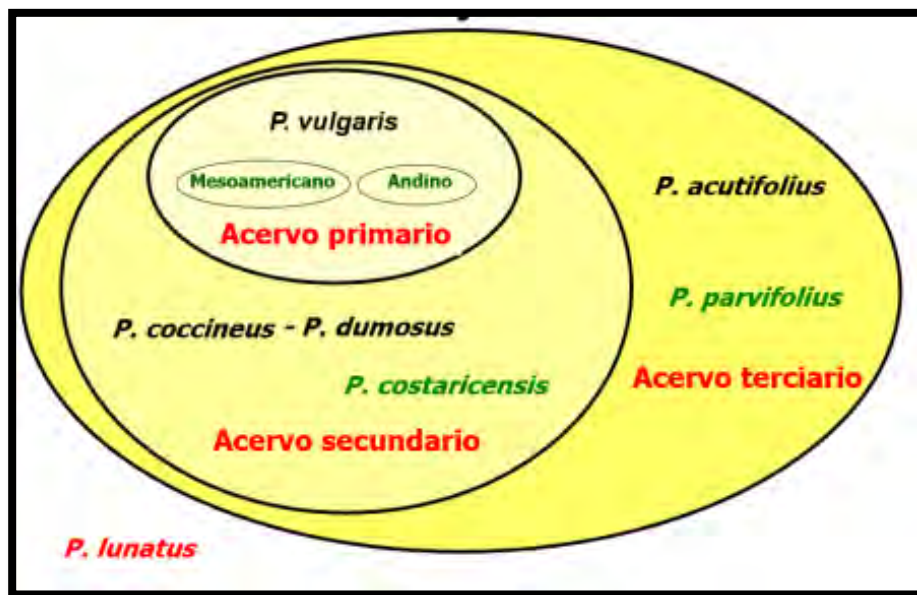


Ilustración 3 Acervos genéticos del frijol común

Fuente: (Barrera, 2016)



4.2.5. Parámetros de análisis del suelo

- **PH:** Mide el grado de acidez de un suelo, es decir, la concentración de hidrogeniones (H^+) que existen en el suelo. En la escala de valor máximo 14, el valor de un suelo neutro es 7, siendo ácidos todos aquellos que tengan valores inferiores a 7, y básicos todos aquellos que tienen valores superiores a éste (Garrido, 2005).

Las plantas cultivadas en general presentan su mejor desarrollo en valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos están más fácilmente disponibles y en un equilibrio más adecuado (Garrido, 2005).

- **Textura;** La textura hace referencia al tamaño de las partículas elementales obtenidas a partir de la tierra fina (tamiz 2 mm) de forma que el porcentaje de arena, arcilla y limo de un suelo, determina la clase textural a la que pertenece, clase que se determina con la ayuda del triángulo de textura, el triángulo a utilizar cuando se siguen los criterios ISSS (*International Society of Soil Science*) (Andrade & Martinez, 2014).

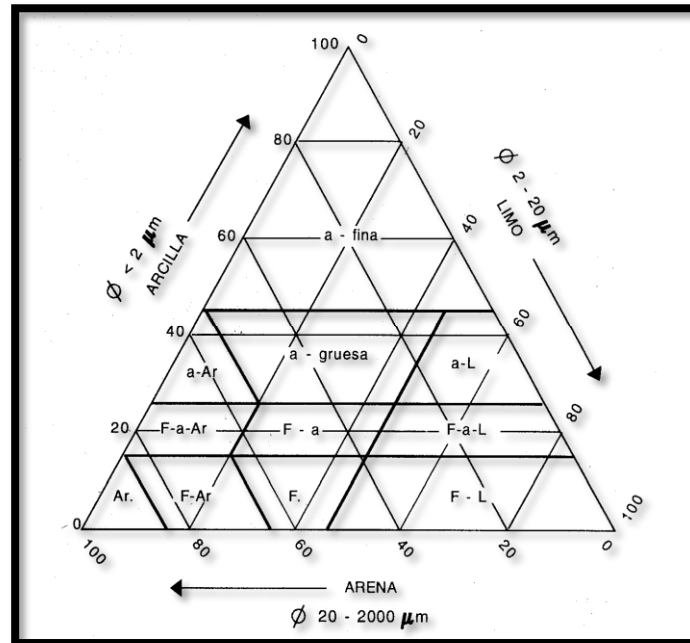


Ilustración 4 Triangulo de textura

Fuente: (Andrade & Martinez, 2014)

- Color:** El color del suelo sirve muchas veces para identificar determinadas zonas en los municipios (la alberiza) y por él se conoce muchas veces la calidad de las tierras. El color identifica a muchos suelos por lo que en las clasificaciones científicas se han utilizado los colores como nombres de grupos o clases. El color es producido por los componentes del suelo. Entre ellos son los óxidos de hierro y la materia orgánica los más vistosos. (Garrido, 2005).
- Materia orgánica:** La cantidad de materia orgánica de un suelo depende del material vegetal, de la textura del suelo y del pH. Su adecuada proporción: Favorece el desarrollo de una buena estructura, mejorando la aireación del suelo y la capacidad de retención del agua, Protege frente a la erosión., Aumenta la capacidad total de cambio favoreciendo una buena reserva de elementos nutritivos (Andrade & Martinez, 2014).



La materia orgánica tiene una elevada capacidad de intercambio catiónico, esto es una gran capacidad para retener cationes en el suelo. Además, favorece la microestructura del suelo siendo un elemento muy positivo en la lucha contra la erosión de los suelos (Garrido, 2005).

Tabla 1 niveles de materia orgánica (%) según el tipo de textura del suelo

Arenoso	Franco	Arcilloso	Clasificación
< 0,7	< 1,0	< 1,2	Muy Bajo
0,7 - 1,2	1,0 - 1,5	1,2 - 1,7	Bajo
1,2 - 1,7	1,5 - 2,0	1,7 - 2,2	Normal
1,7 - 2,2	2,0 - 2,5	2,2 - 3,0	Alto
> 2,2	> 2,5	> 3,0	Muy Alto

Fuente: (Andrade & Martinez, 2014)

- **Nitrógeno:** El nitrógeno en el suelo se encuentra en dos formas diferentes: orgánica y química. En forma química aparece en forma de nitratos, nitritos y amoníaco (Garrido, 2005).

El nitrógeno orgánico o amoniacal se encuentra formando parte de los residuos de cosecha, abonos orgánicos o en los microorganismos del suelo. Este nitrógeno se libera poco a poco para ser utilizado por las plantas. Por lo tanto, la medida analítica de nitrógeno no expresa (Garrido, 2005).

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Biorremediación: Es una estrategia que proviene del concepto remediación, que hace referencia al uso de técnicas físico-químicas las cuales utilizan el potencial metabólico de los microorganismos, así como también los tejidos vegetales de las



plantas para remover o transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples. (Lazaro, 2008)

Contaminación: Desde el punto de vista ambiental se refiere a todo agente físico, químico o biológico que pueda alterar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas modificando por tanto las condiciones del medio ambiente. (Lazaro, 2008).

Enmienda Orgánica: Sustancia orgánica de cuya descomposición, causada por microorganismos del suelo, resulta un aporte de humus y una mejora en la textura y estructura del suelo (Bermudez, RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL SALITRE EN BOGOTÁ D. C, 2013).

Estabilización: Proceso controlado de degradación de materia orgánica que se logra por medio de métodos biológicos o químicos (Bermudez, RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL SALITRE EN BOGOTÁ D. C, 2013).

Recuperación: es la restauración del potencial ambiental de un área dada para un uso o conjunto de usos predeterminado, pudiendo tratarse de usos consumidores (agricultura, caza de subsistencia, abastecimiento hídrico) o usos no consumidores (recreación pasiva, ecoturismo, investigación) (Bermudez, RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL SALITRE EN BOGOTÁ D. C, 2013)



Suelo contaminado: Es el tipo de suelo que se encuentra afectado por agentes o sustancias químicas o físicas de tipo sólido, líquido y gaseoso que pueden provenir por acciones de tipo naturales o antrópicas que afectan la biota ya que pueden limitar el crecimiento de plantas y perturbar la biota edáfica; y causar graves consecuencias a la salud humana y animal (Lazaro, 2008).

Toxicidad: Grado de efecto tóxico de una sustancia para organismos vivos. Es una medida que permite identificar lo nocivo que puede ser una sustancia al tener contacto con el medio ambiente entre ellos cuerpos vegetales, animales y el ser humano (Lazaro, 2008).

Vectores: Organismo que tiene la posibilidad de transferir un agente infeccioso de un huésped a otro y en general de todo transmisor de gérmenes patógenos. (Bermúdez, 2013)

4.4. MARCO CONTEXTUAL

El municipio de San Diego pertenece a la zona nor-oriental del Departamento del Cesar y tiene una superficie territorial de 670 Kilómetros cuadrados, que limitan por el norte, el oriente y el sur con el municipio de La Paz; y por el occidente con el municipio de Valledupar, con el río Cesar en medio. Se encuentra localizado a 180 metros de altura sobre el nivel del mar, siendo su temperatura promedio de 27 °C en la cabecera municipal y en las estribaciones de la Serranía del Perijá oscila entre 15 °C y 20 °C (Alcaldía de San Diego, 2020).

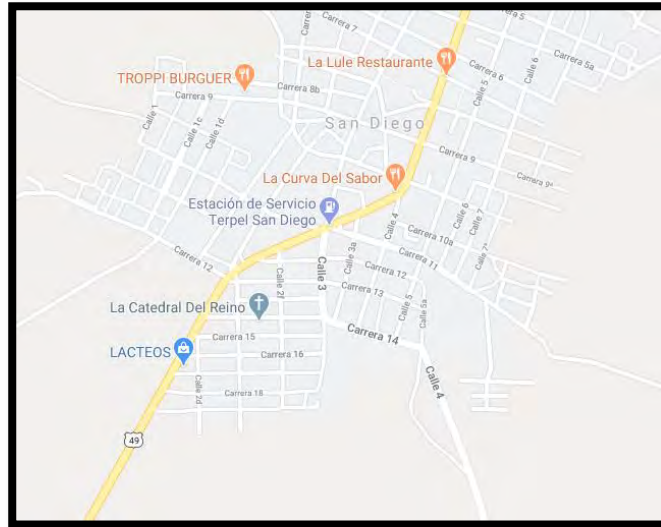


Ilustración 5 ubicación Geográfica de la Finca Villa Bonita

Fuente: Google Maps, 2020

El territorio municipal comprende dos regiones perfectamente definidas, una zona plana y baja de altas temperaturas, localizadas en la llanura del Río Cesar en cuya cercanía se encuentran tierras anegadizas; muy aptas para el desarrollo de agricultura tropical y ganadería. La otra región corresponde a la zona montañosa de las estribaciones de la Serranía de Perijá, donde están localizados los corregimientos de Tocaimo, Media Luna y El Rincón y por naturaleza climática, tiene tierras propicias para la agricultura de climas medios (Alcaldía de San Diego, 2020)

El municipio cuenta con un sistema fluvial que lo baña; constituido por un conjunto de caudales, afluentes la mayoría del Río Cesar. Esta riqueza hídrica, aunque no está aprovechada racionalmente, ha facilitado los regadíos para la agricultura tecnificada y la ganadería en forma casi permanente. Entre los principales caudales están: El Chiriaiimo, El Tocaimo, El Salado, El Perú, El Picito, El Ceras y una ramificación de Acequias afluentes de estos caudales; además del Río Mocho, que marca límites con el territorio de La Paz (Alcaldía de San Diego, 2020).



Ilustración 6 Vista satelital ubicación de la Finca Villa Bonita

Fuente: Google Maps, 2020

4.5. MARCO LEGAL

Tabla 2 Legislación Vigente

Norma	Descripción
Constitución política de Colombia de	Presenta 17 artículos específicos, relacionados con la protección, conservación, control y mejoramiento de los recursos naturales: 49, 67, 79, 80, 81, 82, 88, 95, 277,



1991	313,317, 330, 331 y 334.
Leyes	
Ley 23 de 1973	Tiene como prioridad la prevención y control de la contaminación del medio ambiente, mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales; determinando también como bienes contaminables el aire, el agua y el suelo
Ley 1252 de 2008	Dicta normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos, prohibiendo su introducción, importación o tráfico al territorio nacional. De igual forma, será prohibida la disposición o recepción final de residuos peligrosos en rellenos sanitarios que no cumplan con la capacidad o condiciones físicas y técnicas adecuadas para tal fin.
Ley 1333 de 2009	Establece el procedimiento sancionatorio ambiental, señalando las infracciones, sanciones y medidas preventivas, así como procedimiento para la imposición de las mismas.
Ley 1450 de 2011	Expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, ¿Prosperidad para Todos. Establece que mediante el análisis de medidas que minimicen el impacto ambiental negativo el Gobierno Nacional y sus diferentes entidades podrán estudiar alternativas costo eficientes
Ley 1801 de 2016	Expide el Código Nacional de Policía y Convivencia. Dispone que las autoridades de Policía en el ejercicio de sus funciones, velarán por el cumplimiento de las normas mineras y ambientales vigentes e informarán de los incumplimientos a las autoridades competentes con el fin de que estas apliquen



	las medidas a que haya lugar, imponiendo y ejecutando medidas preventivas por los comportamientos contrarios a la protección del medio ambiente
Decretos	
Decreto 2811 de 1974	Reglamenta lo concerniente al suelo agrícola, dicta principios generales, las facultades de la administración sobre ellos, el uso y conservación de los suelos. Igualmente, se señala lo pertinente con los usos no agrícolas de la tierra, dividiéndolos en urbanos, habitacionales e industriales, dictando su respectiva reglamentación. Así mismo el uso en aeropuertos carreteras y ferrocarriles
Decreto 1076 de 2015 Nivel Nacional	Compila las disposiciones reglamentarias del Sector Ambiente. Establece las obligaciones de los propietarios de los predios en relación con la protección y conservación de suelos.
Decreto 2372 de 2010	En relación con la reglamentación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y los procedimientos generales relacionados con este. Asimismo, señala el objeto, definiciones, principios, coordinación del Sinap, subsistemas de gestión de áreas protegidas, áreas protegidas, distritos de conservación de suelos, suelo de protección y zonificación del sistema en comento.
Resoluciones	
Resolución 0170 de 2009	Que conforme a los artículos 79 y 80 de la Constitución Política, corresponde al Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de



	<p>esos fines, Igualmente, tiene a su cargo planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental;</p>
--	--

Fuente: (Autor,2020)



5. MARCO METODOLOGICO

5.1. Tipo de Investigación

Esta investigación está enmarcada en un tipo de investigación Experimental, definida como *“la cual consiste en hacer un cambio en el valor de una variable y observar su efecto en otra variable; esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular”* (Murillo, 2002), ya que se va a determinar la eficiencia de tres técnicas de recuperación de suelo, a través de una prueba piloto, bajo condiciones controladas, utilizando muestras de suelo de la Finca Villa Bonita, de tal manera que se pueda identificar la alternativa con mayor viabilidad técnica y económica.

En el desarrollo de este análisis comparativo primeramente se deben conocer los parámetros y características del suelo mediante una evaluación, para identificar su nivel de degradación, posteriormente se aplicara las tres técnicas de recuperación seleccionada, para determinar la viabilidad de aplicación de las mismas y finalmente proponer su utilización para la recuperación del suelo.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Sostenibilidad y Gestión Ambiental

SUB-LINEA DE INVESTIGACIÓN: Suelos



5.2. Población

En el desarrollo de este proyecto ambiental se involucra directamente la población que se encuentra en el lugar de estudio que es Finca Villa Bonita ubicada en el municipio de San Diego en el departamento del Cesar, la cual cuenta con una extensión de 3,5 Hectáreas de tierra. Indirectamente se pueden beneficiar con los resultados de esta investigación los habitantes en zonas cercanas al lugar de estudio.

5.3. Muestra

El muestreo para el estudio del suelo se definió de manera aleatoria tomando un área de trabajo de 25 m² en la finca Villa Bonita, teniendo en cuenta la metodología para estudios de suelo establecida por el IGAC.

5.4. Desarrollo metodológico

5.4.1. Etapa 1: Establecimiento de los parámetros Físico–químicos del suelo degradado por la agricultura en la Finca Villa Bonita.

Actividad 1.1. Revisión Bibliográfica y Visitas de inspección

En el desarrollo de la primera etapa del proyecto se realizó una revisión Bibliográfica acerca de la temática de estudio, de acuerdo a la degradación del suelo por la agricultura y las diferentes técnicas que permitan la recuperación de este recurso, de igual manera se realizaron visitas técnicas y de inspección en la Finca Villa Bonita, el área de estudio, todo esto con ayuda de artículos científicos, tesis, libro, entre otros medios de apoyo de información.

La observación directa del terreno ayudo a seleccionar los parámetros fisicoquímicos a estudiar para determinar la calidad del suelo actual e identificar el grado de deterioro, adicional conocer el tipo de terreno, vegetación y especies que presentan.



Actividad 1.2. Identificación de Parámetros Físicoquímicos del suelo

En esta segunda actividad de la primera fase, por medio de un estudio de suelos se evaluaron los parámetros físicos y químicos que darán a conocer las características iniciales del suelo, para su posterior proceso de recuperación, por medio de este estudio se dio a conocer los siguientes parámetros:

Tabla 3 parámetros a desarrollar

Parámetros	Metodo-Tecnica
<i>Humedad %</i>	<i>IGAD ED.6.-Gravimetrico</i>
<i>Materia Orgánica %</i>	<i>IGAD ED.6.-Titulometrico</i>
<i>Nitrógeno total mg/kg</i>	<i>4500-NH3 B,C- Titulométrico</i>
<i>PH</i>	<i>SM 4500-H + B – Electrométrico</i>

Fuente: (Autor, 2020)

Humedad

Este es un parámetro físico definido por Flores & Alcalá (2010) “Se entiende por *humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo*”, su relevancia en el estudio se encuentra en que esta característica en particular es determinante para otras propiedades físicas, puesto que nos ayuda a conocer la capacidad que tiene el suelo de poder absorber el agua.

Materia Orgánica

Este es uno de los principales parámetros a la hora de hallar la capacidad de productividad de los suelos, de acuerdo a Silva “es un indicador de la calidad del



suelo, ya que incide directamente sobre propiedades edáficas, como estructura y disponibilidad de carbono y nitrógeno” puesto que este determina la capacidad de los nutrientes presentes en el suelo y la cantidad, por lo tanto, nos permitirá conocer el estado del suelo degradado

Nitrógeno Total

Este se define a través de *“la forma Inorgánica y orgánica del Nitrógeno asimilable de las plantas”* (USD,1999), este valor dependerá totalmente del uso del suelo, siendo así que es necesario en la investigación para evaluar el estado actual de la fijación de nitrógeno necesario para una óptima calidad de suelo y finalmente evaluar el proceso de regeneración.

PH

Teniendo en cuenta que el estudio a desarrollar busca recuperar la calidad del suelo, este parámetro tal como lo define la USDA (1999) *“el PH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo y afecta la disponibilidad de nutrientes, la actividad de microorganismos y la solubilidad de minerales del suelo”*, donde las actividades agropecuarias tienden alterar esta medida, se dice que los rangos entre 6.0 y 7.5 son los ideales.

Actividad 1.3. Toma de muestras y obtención de resultados

En la última actividad de la primera etapa se realizó el muestreo del suelo para posteriormente determinar cada uno de los parámetros seleccionados en la actividad interior.



El muestro se realizó de acuerdo a la Guía de Muestreo del IGAC (2006), para lo cual se separaron aquellas áreas con características similares, con base en los siguientes criterios:

- Grado de pendiente
- Grado de erosión
- Tipo de vegetación (edad de la explotación, cultivos anteriores)
- Manejo previo (fertilización, preparación del suelo)
- Presencia de rocas, cuerpos de agua, otros factores

El tipo de muestreo más adecuado y sencillo para aplicar fue el en zig-zag. En este método se toman 5 submuestras a lo largo y ancho del terreno que luego se mezclan en el balde o lona. (IGAC, 2006).

Para la toma de muestras con pala, se realizó un hoyo de aproximadamente 25 x 25 cm de lado y 20 cm de profundidad, se retiraron los 2 cm primeros del suelo para extraer la muestra. En general la profundidad de muestreo está entre 2 y 20 cm que es el área de acción de las raíces (IGAC, 2006).

Se mezclaron en un balde las submuestras hasta obtener una muestra compuesta homogénea, de lo cual se tomó aproximadamente 1 kg en una bolsas plásticas, para proceder con la identificación la muestra en forma concisa y exacta (IGAC, 2006).



Ilustración 7 Procedimiento a seguir para obtener una muestra de suelo que represente el área que desea analizar con fines agropecuarios.

Fuente: (IGAC, 2006)

Posteriormente a la toma de muestra, estas fueron enviadas al laboratorio ambiental y de alimentos Nancy Flórez Garcías S.A.S NIT. 824.005.588-0 el cual cuenta con acreditación bajo la norma ISO 17025 bajo resolución del IDEAM 1927 del 29 de Julio del 2014. Para obtener resultados de los parámetros físicos químicos seleccionados, que permitirán identificar las condiciones actuales de suelo y proceder a utilizar las diferentes técnicas de recuperación para el mismo.



5.4.2. Etapa 2: Evaluación mediante prueba piloto de la eficiencia de tres técnicas (enmienda orgánica, fitorremediación y estiércol natural) para la recuperación de suelos degradados por agricultura, en el área de estudio.

Actividad 2.1. Aplicación de la enmienda orgánica

En la segunda etapa del proyecto se procedió en aplicar las tres técnicas seleccionadas para el proceso de recuperación del suelo, teniendo en cuentas las características del suelo ya determinadas en la primera etapa.

La enmienda orgánica como alternativa de recuperación del suelo se realizó con residuos orgánicos obtenidos de las actividades realizadas dentro de la Finca Villa Bonita, tales como restos de comida, de cosechas, corte de césped y cascaras de frutas.

El procedimiento se llevó a cabo mediante pilas, por lo cual fueron necesarios los siguientes materiales:

- Residuos orgánicos
- Tierra
- Bolsas de Basura
- Pala
- Regadera
- Bascula
- Varilla metálica

Se realizaron los siguientes pasos (Alcaldía Mayor de Bogota D.C., 2012).

1. Separación en la fuente de los residuos orgánicos



2. Picar los residuos hasta obtener un tamaño entre 5 y 10 cm, no más pequeño ya que causaría problemas de aireación en la pila
3. Realizar un pesaje de los residuos para conocer el peso, de un volumen determinado, y así establecer el número de baldes necesarios de estos residuos a utilizar para la realización de la mezcla en las proporciones adecuadas.
4. Humedecer la mezcla hasta obtener la humedad entre el 45 y 60%. Es deseable que la pila tenga una humedad cercana al 60% ya que así se activa más rápido el proceso de degradación.
5. Garantizar la aireación de la mezcla realizando volteos una vez al día.
6. Revisión y verificación la temperatura, usando una varilla metálica.

De acuerdo a lo anterior, se tomó para la aplicación de las tres alternativas un área dentro de la Finca Villa bonita, de 14mx17m divididas en 8 sub parcelas de 3mx4m, con un pasillo de largo de 1m y pasillo de ancho de 2m.

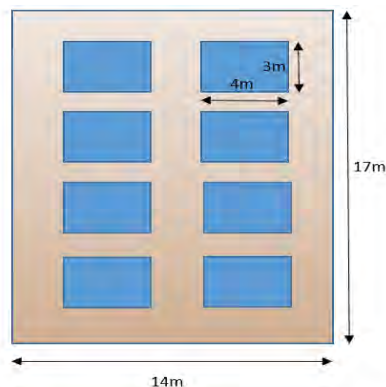


Ilustración 8 Distribución de las alternativas de recuperación del suelo en la Finca Villa Bonita

Fuente: (Autor, 2020)

La enmienda orgánica obtenida se aplicó en el horizonte superior del suelo cerca de 15cm a 20cm, para evaluar el proceso.



Actividad 2.2. Aplicación de la fitorremediación

Para la realización de esta actividad, se tuvo en cuenta como alternativa de recuperación la especie *Phaseolus vulgaris*, la cual es una leguminosa con alta capacidad de fijar nitrógeno, cuya utilización en los suelos degradados por agricultura que pierden su fertilidad, son una gran estrategia, adicional a esto, el costo de adquisición de la leguminosa es bajo.

La siembra de esta especie se realiza en surcos separados, de acuerdo a la distribución ya planteada en la actividad anterior, con una distancia entre plantas de 30 cm y de manera manual; el riego será 3 veces por semanas, de acuerdo a la duración del experimento.

Actividad 2.3. Aplicación del estiércol Natural

La tercera alternativa de recuperación del suelo fue el uso de estiércol natural vacuno y porcino, obtenido en fincas cercanas a la zona, lo cual es una opción adicional de aprovechamiento de estos residuos, para la aplicación, teniendo en cuenta la distribución ya descrita se incorpora al suelo de 15cm-20cm, en el tiempo transcurrido de estudio realizando riegos diariamente y evaluando la evolución del proceso.

5.4.3. Etapa 3: Proponer la utilización de la técnica más eficiente como alternativa en la recuperación del suelo, según los resultados obtenidos en la prueba piloto realizada.

Actividad 3.1. Se analizaron de los resultados de las tres técnicas aplicadas

En el desarrollo de la primera actividad de la última fase del proyecto, se realizó una toma de muestra en el suelo, de acuerdo a la aplicación de cada una de las técnicas utilizadas para su recuperación, a las cuales se les determinaron los parámetros



fisicoquímicos ya establecidos, esto me permitió comparar los resultados obtenidos e identificar las condiciones y la calidad del suelo posterior al tratamiento aplicado.

La comparación de estas tres técnicas se dio a través de la observación en el cambio de las características físicas que tuvo cada una de ellas en el suelo degradado de la finca Villa Bonita. Este es el punto de comparación, para elegir la técnica con mayor eficiencia en el área de estudio.

Actividad 3.2. Selección de la alternativa con mayor viabilidad técnica y económica

En esta fase del proyecto, con los resultados de la actividad anterior y de acuerdo a un análisis comparativo se selecciona la alternativa de recuperación del suelo con la mayor viabilidad tanto técnica como económica, cumpliendo las condiciones de la comunidad dentro del entorno de la Finca Villa Bonita.

Actividad 3.3. Determinación de estrategias de recuperación del suelo degradado por agricultura

Finalmente se formularon algunas estrategias que permitan a la población el buen uso del suelo, para disminuir el deterioro y que adicionalmente en la aplicación de la técnica seleccionada, se mejore la calidad del mismo, optando por un método fácil de aplicar, económica y rentable.



6. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 Etapa 1: Establecimiento de los parámetros Físico–químicos del suelo degradado por la agricultura en la Finca Villa Bonita.

En la elaboración de la etapa inicial del proyecto se realizó una visita técnica y de inspección en la Finca Villa Bonita, en la cual se consiguió identificar las condiciones iniciales del suelo, con los parámetros fisicoquímicos correspondientes a humedad, materia orgánica, nitrógeno total y pH basados en muestras de acuerdo a la degradación del suelo por la agricultura.

El propósito de este muestreo fue obtener una porción representativa del suelo degradado para su análisis.

Los parámetros fisicoquímicos se efectuaron bajo normas técnicas y métodos oficialmente aceptados incluidas en el Standard Examination of Water and Wastewater 22th Edition 2012.

La observación directa del terreno me permitió detallar los parámetros fisicoquímicos a estudiar para determinar la calidad del suelo actual e identificar el grado de deterioro, adicionalmente, conocer el tipo de terreno, vegetación y especies que se presentan.

- **Ubicación y reconocimiento de zona de estudio:** se realizó por medio de visitas a la finca Villa Bonita para el reconocimiento de la zona específica de estudio. A continuación se presenta el registro fotográfico de la zona:



Ilustración 9 Vista panorámica Finca villa Bonita

Fuente: Autor, 2021.

En la *ilustración 9*, se observa un suelo degradado, con poca capa vegetal, producto del desplazamiento de las partículas del suelo, erosionado por impacto de las actividades agrícolas, se observa un suelo compactado, con pérdida de materia orgánica.

Se denota una pérdida de la capa fértil del suelo con una reducción de la capacidad de retener agua, esto puede ser ocasionado, de acuerdo al conjunto de visitas de inspección realizadas, al sobrecultivo que se ha dado en esta zona, claramente esto trae como consecuencia altos grados de desertización y de procesos erosivos y a pesar de que se han intentado utilizar fertilizantes o productos para mejorar las condiciones del suelo, claramente la degradación que existen en áreas específicas, puede llegar a ser alta.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hizo necesario en la investigación, la realización de un muestreo, para identificar las condiciones iniciales del suelo, el estudio de caracterización, el cual realice basándome en la Guía de Muestreo del IGAC (2006). Se llevó a cabo en un área de 25 m², las muestras fueron tomadas retirando la capa superior del suelo aproximadamente 2cm, se recolectó alrededor de 5 kg del suelo.



Ilustración 10 Caracterización del suelo

Fuente: Autor, 2021.

Posterior a esto, el suelo se secó a la sombra y a temperatura ambiente, luego se molió y tamizó a través de una malla de 2 mm, tomando finalmente 1 kg de muestra, para realizar los análisis físico-químicos en laboratorio.





Ilustración 11 Vista de las muestra 1 y 2

Fuente: Autor, 2020.



Ilustración 12 Vista de las muestra 3 y 4

Fuente: Autor, 2021.



Ilustración 13 Vista de la muestra 5

Fuente: Autor, 2021.



En las imágenes se puede observar 5 diferentes puntos de muestreo con características visibles diferentes. Se observa un suelo compactado, con escasa cobertura vegetal.

Tabla 4. Características físico-químicas del suelo antes de la implementación de los tratamientos.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
pH	U de pH	9,28
Humedad	%	8,77
Materia orgánica	%	0,238
Nitrógeno total	Mg/kg	296

Fuente: Autor, 2021.



6.1.1 Análisis fisicoquímico porcentaje de humedad

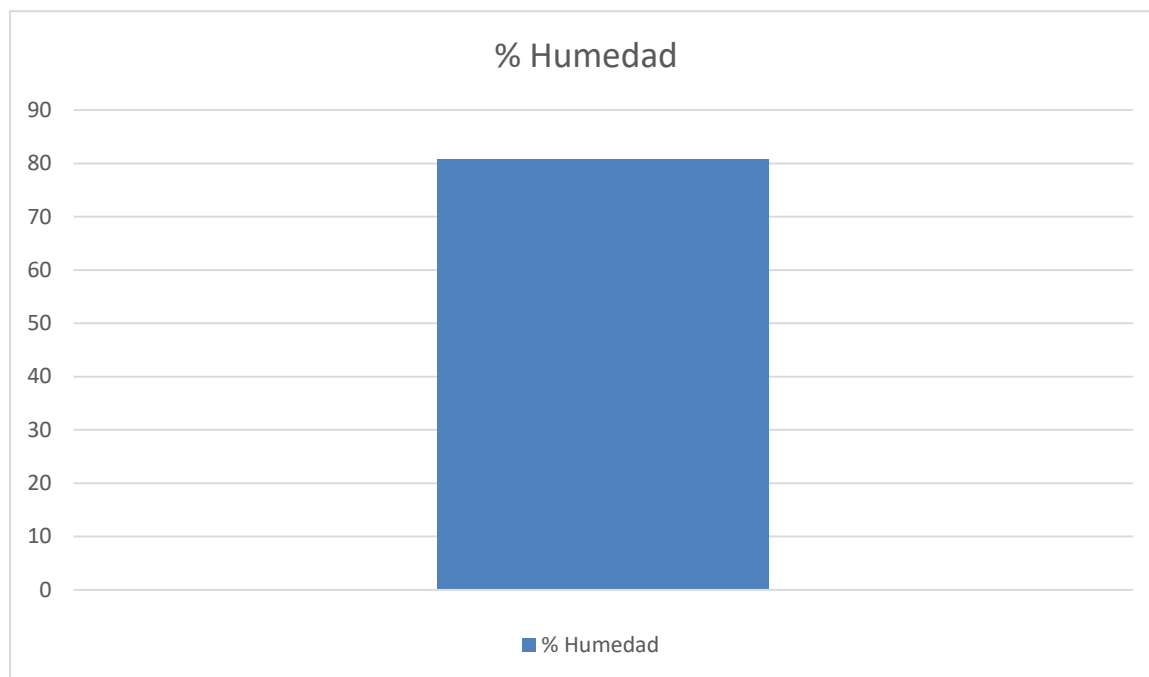


Grafico 1 Análisis porcentaje de humedad

Fuente: Autor, 2021.

Los valores presentados anteriormente permiten inferir que en general la zona muestra una buena a mediana humedad. Siendo que las muestras se tomaron en época de verano, se puede afirmar que su grado de humedad se encuentra entre un nivel medianamente apto para las actividades desarrolladas en la zona, según el plan de desarrollo municipal (Alcaldía de San Diego, 2020), esta área es constituida por dos regiones perfectamente definidas, una zona plana, localizada en la llanura del Río Cesar en cuya cercanía se encuentran tierras anegadizas; muy aptas para el desarrollo de agricultura tropical y ganadería con temperatura promedio de 27°C y una zona montañosa de las estribaciones de la Serranía de Perijá, propicia para la agricultura.



6.1.2 Análisis fisicoquímico de PH

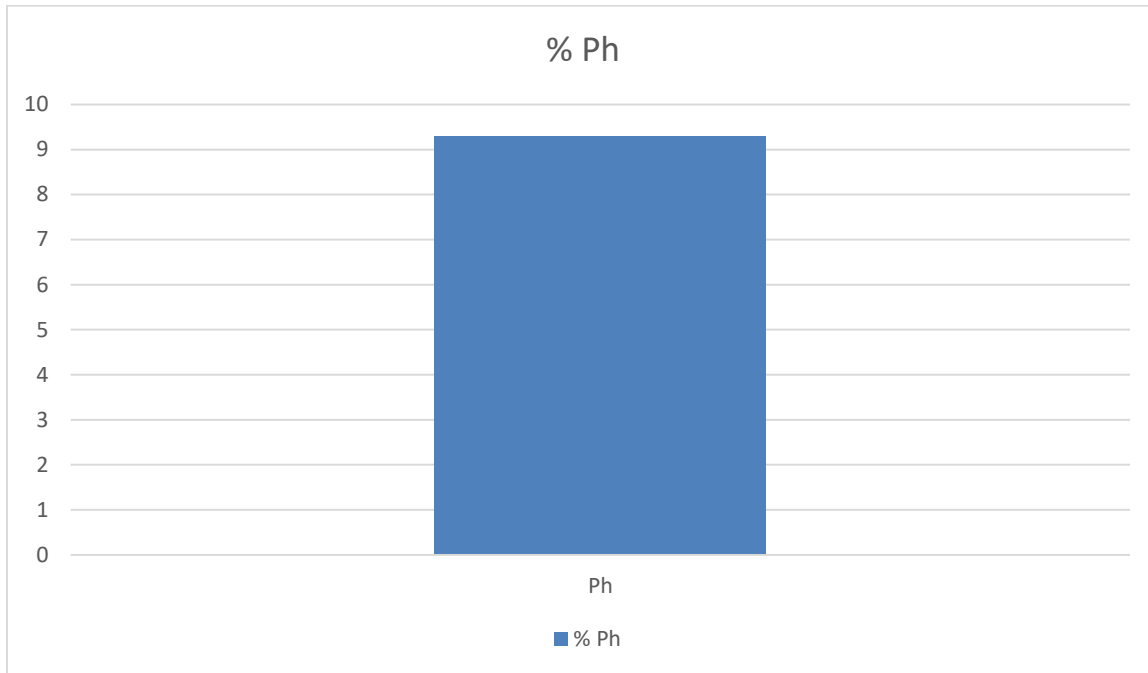


Grafico 2 Análisis del pH

Fuente: Autores, 2021.

Los resultados de pH que se encontraron que están dentro de los niveles establecidos por la tabla de consideraciones generales para interpretar análisis químicos del suelo del IGAC. De acuerdo a lo anterior se observa que el pH tiene un valor de 9,28 lo cual se considera un suelo alcalino, con exceso de carbonato de calcio, esto hace que retenga nutrientes como el fosforo y el hierro que dificultan la absorción a las plantas; siendo esto unas propiedades físicas desfavorables para cultivar. El conocimiento de este parámetro es fundamental para elegir el tipo de abono.



6.1.3 Análisis fisicoquímico de Nitrógeno total

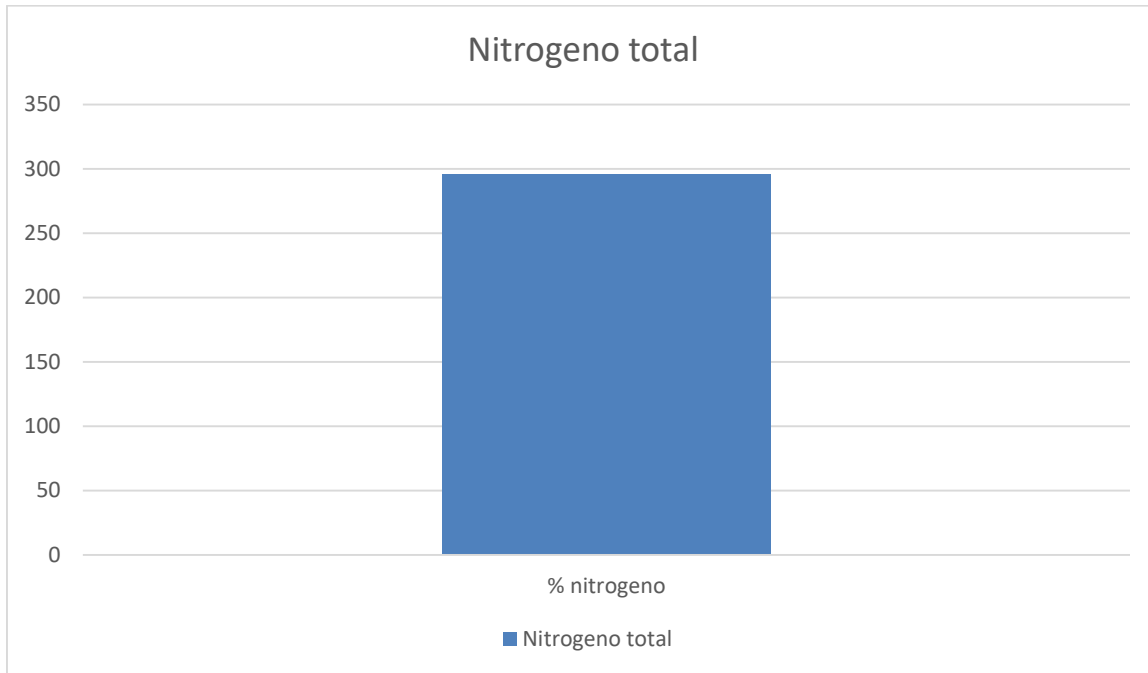


Grafico 3 Análisis fisicoquímico del nitrógeno

Fuente: Autores, 2021.

El grafico 3 denota el valor obtenido de la muestra, en donde se observan 296 mg/kg un valor deficiente de acuerdo a la tabla de consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelo del IGAC. Donde se atribuye al manejo inadecuado de este suelo por desarrollo de actividad agrícola. La deficiencia de nitrógeno acarrea problemas para las plantas ya que hace que el crecimiento de las mismas sea más lento y además muestren un aspecto débil (IGAC, 2006).

Por consiguiente, según investigaciones edafológicas (Conti, 1998) El nitrógeno se considera un elemento esencial de todos los seres vivos, un macronutriente. Además de ser un componente específico de la proteína, también está presente en la mayoría



de las combinaciones orgánicas de vegetales. En la actualidad, está comprobado que este es el factor limitante más común para el crecimiento de las plantas, y un suministro insuficiente de este nutriente puede provocar una disminución significativa en el rendimiento de las plantas. Al mismo tiempo, directa o indirectamente, la fuente de material proteico asegura la nutrición general de humanos y animales. Tanto su deficiencia como el exceso en el suelo tienen un impacto importante en la salud y productividad de los ecosistemas del mundo.

6.1.4 Análisis fisicoquímico de materia orgánica

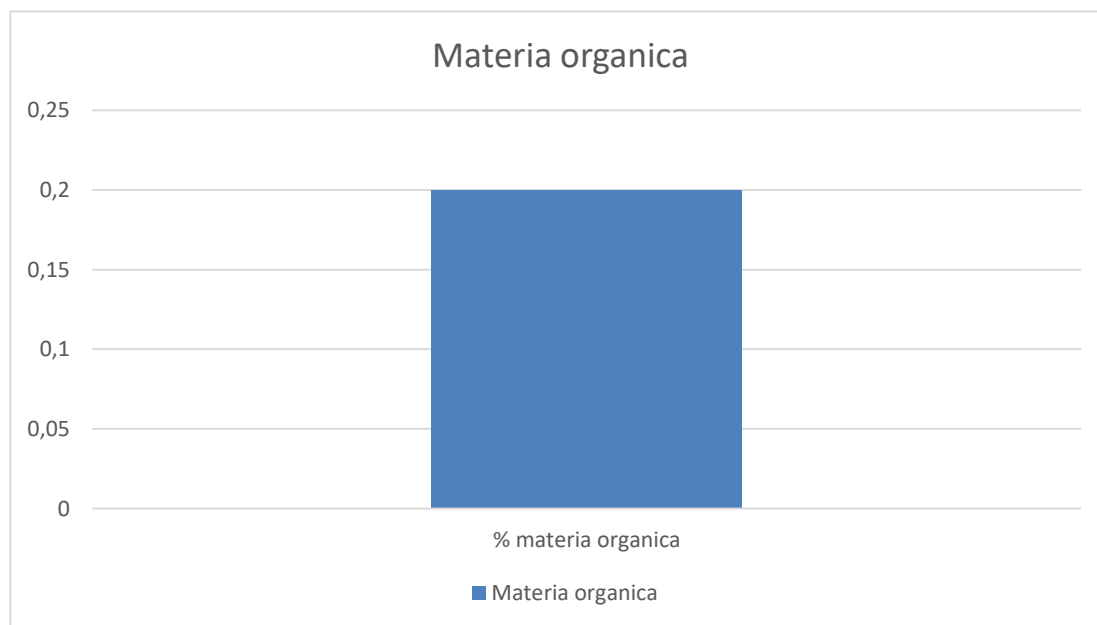


Grafico 4 Análisis fisicoquímico de la materia orgánica

Fuente: Autores, 2021.

En el gráfico 4, denota un porcentaje de materia orgánica muy bajo, según su tipo de textura, consecuencia del pH alcalino y la poca presencia material vegetal. Ya que,



debido a su proporción desfavorece el desarrollo de una buena estructura, la aireación y capacidad de retención del agua.

El contenido de materia orgánica, resulta ser una de las características más preocupante, teniendo en cuenta que esto traduce que la actividad microbiana será baja, ya que estos parámetros son directamente proporcionales, esto se puede observar solo con ver la escasa cobertura vegetal en el suelo, lo que los vuelve mucho más susceptibles a los procesos erosivos. Según investigaciones, (PALOMINO, 2018) por las condiciones de materia orgánica del suelo todo esto demuestra que es necesario la instauración de alguna metodología que permita la recuperación de las características edáficas del suelo en estudio.

No obstante, autores como (Andrade & Martinez, 2014) denotan la importancia de la materia orgánica a una serie de compuestos con estructuras muy diversas, que se originan a partir de la descomposición total o parcial de células animales y / o vegetales y afectan directamente las propiedades físicas y químicas del suelo. Aunque representa un pequeño porcentaje del suelo total, la presencia de materia orgánica es vital para la fertilidad de la tierra y el crecimiento de los cultivos.

Asimismo, la existencia de este parámetro también tiene un impacto importante en la capacidad de intercambio catiónico del suelo, pudiendo ser considerado como el potencial de retención e intercambio de nutrientes, lo que incide directamente en la fertilización de los cultivos. Al mismo tiempo, también se puede utilizar como tampón de pH en el suelo para evitar su degradación. Al mismo tiempo, la materia orgánica puede prevenir la desintegración de las partículas del suelo y reducir su erosión, mantener la humedad disponible de los cultivos durante un período de tiempo más largo y evitar fluctuaciones obvias de temperatura y, al mismo tiempo, mejorar la vida de los microorganismos que favorece la reproducción de bacterias activas de



microorganismos y organismos macroscópicos, y aumentan la biodiversidad como lo atribuyen (Andrade & Martinez, 2014) en su investigación.

6.2 Etapa 2: Evaluación mediante prueba piloto de la eficiencia de tres técnicas (enmienda orgánica, fitorremediación y estiércol natural) para la recuperación de suelos degradados por agricultura, en el área de estudio.

Posteriormente, teniendo conocimiento de los de parámetros fisicoquímicos se evaluó mediante prueba piloto la eficiencia de las tres técnicas de recuperación con el fin de conocer la de mayor eficacia en la recuperación del suelo.

6.2.1 Recuperación a través de enmienda orgánica

En la segunda etapa del proyecto se aplicó la técnica de enmienda orgánica en el proceso de recuperación del suelo, teniendo en cuentas las características del suelo ya determinadas en la primera etapa. Esta alternativa de recuperación, fue realizada con residuos orgánicos obtenidos de las actividades realizadas dentro de la Finca Villa Bonita, como son residuos de comida, frutas y vegetales, pasto.

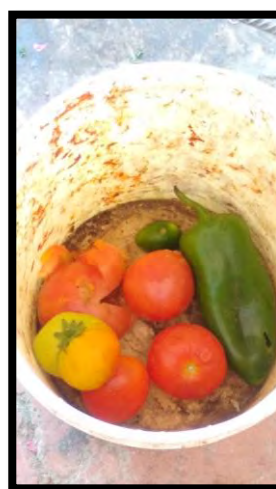




Ilustración 14 Residuos de vegetales, usados en la enmienda orgánica

Fuente: Autor, 2021.



Ilustración 15 Residuos de cobertura vegetal usada en la enmienda orgánica

Fuente: Autor, 2021.

Luego se pesaron los residuos, se utilizaron 5 baldes de 10 litros cada uno, para la realización de la mezcla en las proporciones adecuadas, el proceso se desarrolló por medio de pilas, este tipo de metodología me permitió conseguir mezclas más homogéneas y realizar mejores procesos de monitoreo de la oxigenación.

Posteriormente, se humedeció la mezcla, y con la ayuda de un termómetro para compostaje, se obtuvo un porcentaje de 50% de la humedad, lo que fue favorable en este proceso, ya que la humedad permite que el proceso de degradación sea más



rápido. Fue necesario garantizar la aireación de la mezcla realizando volteos, estos se realizaron una vez al día durante 30 días.



Ilustración 16 Pilas para por enmienda orgánica

Fuente: Autor, 2021.

En la ilustración anterior se puede observar la pila en la realización de la enmienda orgánica, la cual contiene tierra, cobertura vegetal y residuos orgánicos, que me permitió la obtención del compost que más adelante utilice en la prueba piloto de los procesos de recuperación. Al momento de la elaboración de la pila tuve en cuenta que la mezcla tuviera proporciones adecuadas y que los materiales que se encontraban



con gran tamaño, fueron reducidos para no afectar al proceso y mantener la humedad adecuada en la pila.



Ilustración 17 Volteo de pila

Fuente: Autor, 2021.

Según el Plan de desarrollo Municipal (ALCALDIA,2020) atribuye que la zona de estudio consta de dos regiones perfectamente definidas, una zona plana, localizadas en la llanura del Río Cesar en cuya cercanía se encuentran tierras anegadizas; muy aptas para el desarrollo de agricultura tropical y ganadería con temperatura promedio de 27°C y una zona montañosa de las estribaciones de la Serranía de Perijá, propicia para la agricultura, resultó necesario realizar volteos constantes que mantuvieran la oxigenación de la enmienda, adicionalmente también se controlaba las condiciones de humedad, fueron estos los principales factores a considerar para garantizar un buen compost.



La elaboración tomo un tiempo de cerca de 30 días, teniendo en cuenta que fue un proceso completamente manual y por lo tanto resulto un poco más lento, adicionalmente al no contar con todos los equipos de medición de los parámetros en el momento del desarrollo de esta etapa, lo cual dificulto la determinación de ciertos factores y causo que el material no estuvieran en las condiciones deseadas en ciertos momentos.



Ilustración 18 Comparación de porción de suelo con enmienda orgánica y sin enmienda orgánica

Fuente: Autor, 2021.

En la *ilustración 18* se observa que la muestra de la izquierda presenta un cambio de textura y color en el terreno tras ser mezclado con la técnica de recuperación, notándose una muestra con una menor compactación y una tonalidad parda, en comparación con la muestra de suelo inicial. Indicando cualitativamente de que el suelo enmendado es poseedor de una mayor fertilidad.

En términos generales, se puede afirmar que el suelo enmendado presenta enriquecimiento de macro y micronutrientes, mejorando sus características físicas,



con menor incremento de elementos y sustancias tóxicas, que no obstante permanecen en niveles inofensivos.

Este método de recuperación es favorable, ya que este tipo de suelo posee mejores características para el desarrollo de la vegetación y por tanto, es evidente que la adición a la muestra ha mejorado las características texturales del mismo, y por ende una serie de cualidades tales como permeabilidad, porosidad, capacidad de aireación y penetración de las raíces, retención de agua, entre otras.

La textura predominante del suelo sin adición de la enmienda es arcillosa, ya que se logran evidenciar pequeño diámetro de sus partículas, esto tiende a formar un suelo mal drenado, con baja velocidad de infiltración y mayor compactación, difícil para ser penetrado por las raíces de muchas especies vegetales. Por consiguiente, pasado 30 días se tomaron muestra de PH para determinar la eficiencia y viabilidad de la técnica de recuperación por enmienda orgánica.

6.2.2 Recuperación a través de fitorremediación

Teniendo en cuenta el desarrollo de recuperación del suelo degradado, se usó la especie *Phaseolus vulgaris*, la cual convirtió sus semillas en fitohormonas que aceleraron y alcanzaron al 100% de germinación de las semillas a los 11 días, este tipo de técnica por su fácil acceso y eficacia, minimizó el efecto tóxico del suelo contaminado, se inocularon a un 1ml en una muestra de suelo afectado, se controló la humedad al 80%. Las variables respuesta de la técnica alcanzó el nivel de planta y prefloración a los 19 días.

Esta técnica denota una variación en suelos altamente afectados por el excesivo uso de fertilizantes y la calidad del agua de riego. Posterior a esto, se realizó una prueba de pH para determinar la eficacia del método.



Se realiza la siembra con una distancia de 30 cm entre las plantas, los riegos fueron entre 2 y 3 veces al día. En la ilustración siguiente se observa la ubicación, de las leguminosas, a lo largo de la parcela asignada para el proceso de recuperación.



Ilustración 19 germinación de la especie

Fuente: Autor, 2021.

En la imagen se comienza a observar los procesos de germinación por la especie utilizada, en el estudio, en los primeros días se observó que existía una pérdida de humedad rápidamente, por lo que se establecieron periodos de riegos más constantes como se había nombrado anteriormente, esto se relaciona seguramente con las reacciones que se tienen por parte de las plantas.



Al termino del paso de los dias se detallo el comportamiento que tuvo la coloracion de la planta, donde a partir de los 15 dias se notaron cambios en las características, se presentaron unos subtonos amarillos en las hojas de las plantas, pero que cerca a los 20 dias se tornaba una coloracion mucho mas verde, tambien puede influir que en el desarrollo del proyecto, cerca de una semana entera, se presento una epoca de fuerte radiacion solar que pudo tener incidencia en el proceso.

La textura de las hojas tambien fue un factor a evaluar, a medida que las hojas tenian la coloracion con subtonos amarillas, se sentia una hoja mucho mas seca en comparacion a cuando presentaron una coloracion mucho mas verde, pero ya cerca de los dias 30 que la planta tenia un crecimiento considerable, las hojas tomaron un color mas sano.

Los horarios de riego fueron muy cambiantes, debido a la disponibilidad de los constantes viajes, era complejo mantener un control de este, aun asi para garantizar los mejores resultados, se buscaba que se realizaran minimos dos veces diarias, de acuerdo a la necesidad de la planta y el suelo observada.



Ilustración 20 Crecimiento de la especie

Fuente: Autor, 2021.

Se observa un ambiente natural, con la aplicación de un método viable y económico, además de su facilidad de acceso. Al aplicar la técnica de Fitorremediación se puede observar que a los 19 días se empieza notar un suelo más suelto y rico en nutrientes, no obstante, resulta ser un método es más rentable en comparación a las otras técnicas de recuperación y minimiza el impacto ambiental, ya que la utilización de otros métodos puede generar la incidencia a gases de efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos.

Así mismo, mediante investigaciones de fitotoxicidad del suelo (ARIAS, 2017) atribuye que el estrés vegetal de *P. Vulgaris* en suelos contaminados con es directamente proporcional a la concentración del tratamiento, las variables de emergencia, como altura y biomasa total, además de la incidencia en los parámetros más sensibles. Los resultados del estudio demuestran la sensibilidad de *P. Vulgaris* como una especie



bioindicadora para el monitoreo de un proceso de remediación y el impacto sobre un suelo altamente degradado.

6.2.3 Recuperación a través de estiércol



Ilustración 21 Estiércol utilizado para la recuperación del suelo degradado

Fuente: Autor, 2021.

En el desarrollo de esta técnica utilice el estiércol vacuno y ovino, en un tiempo de evaluación de 30 días, se observó que el estiércol al entrar en contacto con el suelo afectado, aportó nutrientes convirtiendo la muestra compactada y árida, en un suelo rico en nutrientes y suelto. La aplicación de este método en la muestra para la recuperación del suelo es un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno, potasio y fósforo en el suelo. No obstante, en su utilización la valoración fue mínima comparada con las otras técnicas.



Ilustración 22 Toma de estiércol ovino

Fuente: Autores, 2020.

La aplicación del estiércol se hizo directamente en las parcelas del suelo, a una profundidad aproximadamente de 20 - 30 cm; teniendo en cuenta el tipo de residuos, se mantuvo siempre con equipos de protección personal, para no entrar en contacto directo con el material, el proceso desarrollado fue muy similar a la aplicación de la enmienda orgánica,

En el monitoreo de las parcelas diariamente se realizaba una inspección de las condiciones del suelo, principalmente de la textura y la humedad, en los primeros 10 días se observó que se formó una textura muy arcillosa y baja humedad en el suelo, haciendo necesario que el riego se hiciera 3 veces diariamente; a partir de los 15 días la textura del suelo se volvió un poco más compacta y a los 20 días se apreciaba una mejor condición de humedad, los olores no fueron muy agradables los primeros 10 a 15 días de la aplicación, pero con el paso del tiempo fue mucho más controlados.

Esta técnica a pesar de ser la más sencilla en cuanto manejo, se observó que era necesario que el personal que este cargo, realice monitoreos mucho más



constantemente, teniendo en cuenta que el proceso de recuperación necesita de un acompañamiento del control de la humedad, factor indispensable en estos procesos

6.3 Etapa 3: Proponer para la utilización de la técnica más eficiente como alternativa en la recuperación del suelo, según los resultados obtenidos en la prueba piloto realizada.

Finalmente, con el análisis y la interpretación de las etapas anteriormente desarrolladas mediante prueba piloto, para determinar la eficacia de los métodos, se llevó a cabo una evaluación conforme a los niveles de pH comparados con las características iniciales.

Tabla 5. Análisis comparativo de las técnicas de recuperación

TÉCNICA	PH	TIEMPO DE RECUPERACIÓN
Suelo degradado	9,2	-
Enmienda orgánica	6,8	30 días
Fitoremediación	7,2	30 días
Estiércol	8,0	30 días

Fuente: Autor, 2021.

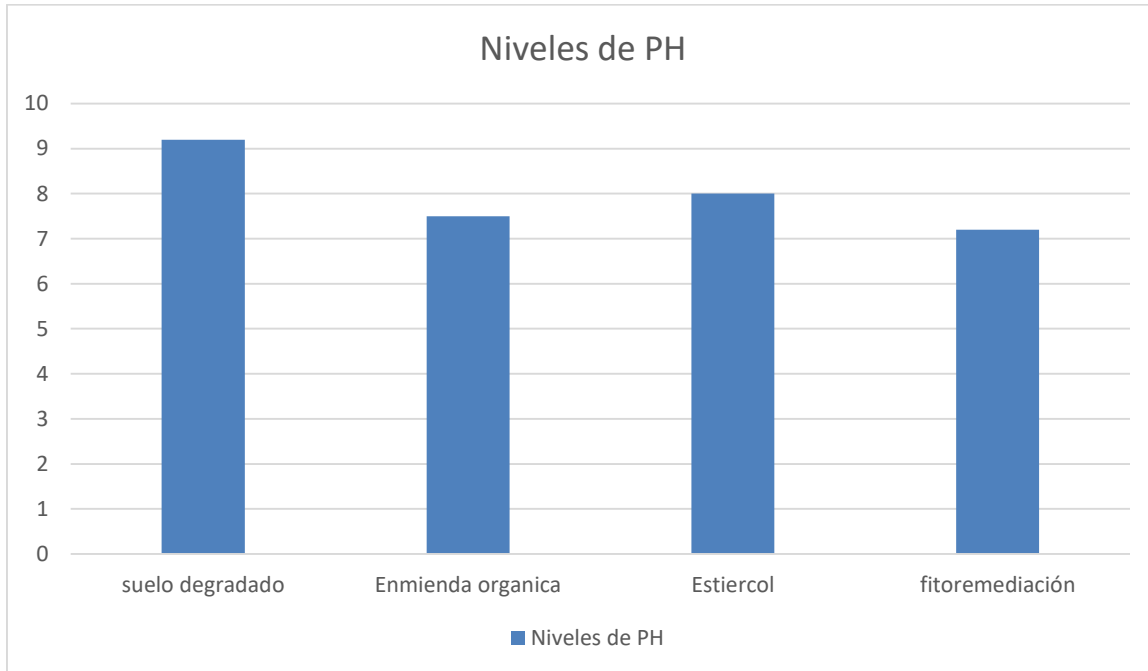


En la *tabla 5*, se evidencia la reducción de pH en el suelo tratado hasta valores ácidos producto del enriquecimiento con materias orgánicas y nutrientes, en los procesos de humificación en el suelo para cada método. El principal efecto de un pH muy alto o muy bajo es que algunos nutrientes pueden estar disponibles en forma excesiva y ser tóxicos mientras que la indisponibilidad de otros puede causar disminución en el crecimiento de los cultivos, y generar deficiencia en la recuperación del suelo degradado.

No obstante, para investigaciones como la de (PALOMINO y FARELO, 2018), el suelo se clasifica como marrón amarillento oscuro cuando está húmedo y marrón amarillento cuando está seco. En suelos con bajo contenido de materia orgánica, el exceso de sodio formará un color oscuro debido a la disolución de la materia orgánica a un pH alcalino profundo. Cuando el color del suelo es gris claro, suele ser causado por un suelo mal drenado en condiciones anaeróbicas, por lo que aparece un color muy oscuro en la superficie debido a la acumulación de materia orgánica.



Gráfico 4. Análisis niveles de PH



Fuente: Autor, 2021.

De acuerdo al análisis previo de los niveles de PH y debido a las consideraciones dispuestas al momento de la aplicación de cada técnica, se pudo seleccionar a la fitorremediación como la de mayor aprovechamiento y viabilidad de recuperación del suelo de estudio, principalmente por ser la medida económicamente más accesible, permite recuperar grandes áreas de suelo, en comparación de las otras técnicas al momento de la restauración en grandes extensiones, ya que se vuelve mucho más complejo el monitoreo y seguimiento; la técnica es sencilla y no exige gran conocimientos técnicos específicos para su implementación. En ese sentido, según investigaciones (Casierra & Aguilar, 2007), ocurre que una alta proporción de los sitios de intercambio está siendo saturada por Al^{3+} , lo que genera problemas de toxicidad y baja disponibilidad de nutrientes, los cual afecta la adsorción de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} .

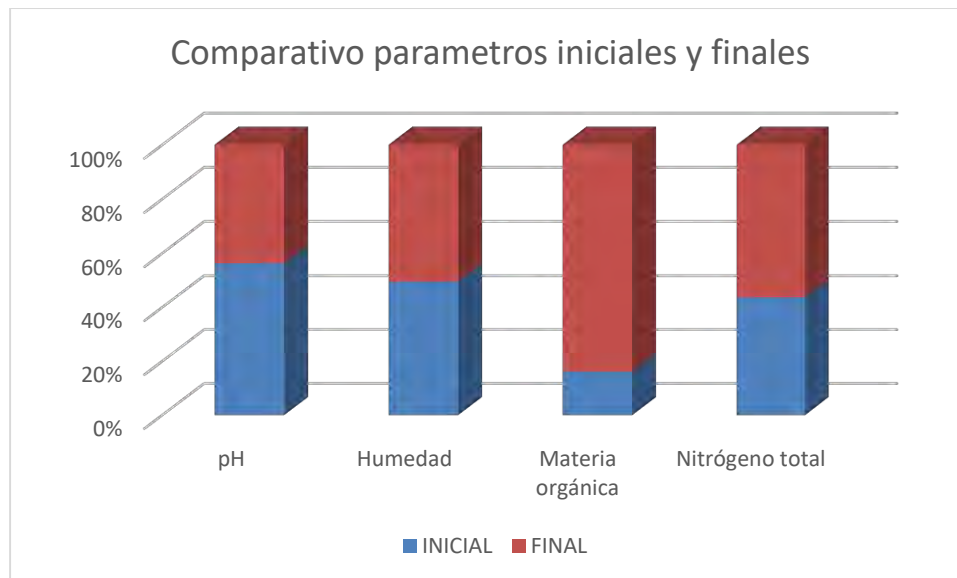


Tabla 6 Comparativo parámetros iniciales y finales

UNIDADES	PARAMETROS	INICIAL	FINAL
U de pH	pH	9,28	7,2
%	Humedad	8,77	8,95
%	Materia orgánica	0,238	1,24
Mg/kg	Nitrógeno total	296	381

Fuente: Autor, 2021.

Gráfico 5 Comparativo parámetros iniciales y finales



Fuente: Autor, 2021.



Se realizó como última instancia la caracterización del suelo que fue remediado con esta técnica y se comparó en la gráfica anterior, los niveles de Ph como se nombró anteriormente con un valor de 7,2, lo cual es neutro siendo ideal, en los suelos que se utilizan para actividades agropecuarias, la humedad fue uno de los parámetros con menos cambios, teniendo en cuenta que los iniciales ya contaban con valores favorables.

La materia orgánica pasó de valores de 0,238 Mg/kg a 1,24 Mg/kg, claramente un gran cambio frente a las condiciones de material orgánico en el suelo y fue evidente en la textura que se observó del suelo, tendiendo a un suelo franco, estos suelos son los ideales por sus características de adecuada retención de agua y aireación, por lo tanto, otro tipo de procesos como la erosión son menos comunes cuando el suelo cuenta con estas características.

Finalmente, estéticamente representa para la Finca Villa bonita una estrategia para embellecer lugares, aun así, al tomar esta alternativa de mayor viabilidad no se descarta las otras técnicas como de gran aprovechamiento, lo ideal es que en el desarrollo de estas investigaciones se incentive cada vez más el estudio de acciones encaminadas a restaurar estas extensiones de suelo que han perdido sus características por las actividades económicas de la zona.

➤ **Estrategias de recuperación del suelo**

- a. **Abonos verdes:** El uso de abonos verdes está muy ligado a la aplicación de la fitorremediación, este tipo de estrategias se puede potencializar, con el uso de especies autóctonas de la zona que ayuden a aprovechar los beneficios de la fijación de nutrientes en el suelo por parte de algunas especies de leguminosa.



De acuerdo con (HERNANDEZ, 2006), en su investigación afirman que las especies que ofrecen el mejor potencial como fuente alternativa de materia orgánica para el manejo y rehabilitación de los suelos sulfatados ácidos son el nabo forrajero, en primer lugar, las avenas 'Cajicá' y 'Cayuse', en segundo lugar, y el centeno, el girasol y la vicia, en último lugar. Ya que el rábano forrajero demuestra ser la mejor especie en cuanto a producción de fitomasa fresca y seca hasta los 75 dds; después de este tiempo, además, el maíz, la quinua y la remolacha tienen fácil adaptabilidad a estos suelos.

No obstante, el éxito de las especies de abono verde que ofrecen el mejor potencial como fuente alternativa de materia orgánica para suelos degradados depende en alto grado de la corrección de la acidez; por lo tanto, para su establecimiento se debe hacer al suelo aplicaciones de enmiendas calcáreas, tales como cales, dolomitas o rocas fosfóricas.

- b. Micorrizas:** Es una alternativa no muy común en el departamento, pero investigaciones como (NODA, 2009) han demostrado, que las micorrizas permiten una aplicación exitosa mediante el recubrimiento de las semillas. Por otra parte, las relaciones micorrízicas pueden ser la clave para disminuir la cantidad de fertilizantes (especialmente fosfatos) que debe aplicarse para obtener buenos rendimientos; en los suelos con altos contenidos de la inoculación con micorriza incrementa el crecimiento y el establecimiento temprano de los cultivos.

Además, las plantas desarrollan una calidad biológica superior, en cuanto a mayor altura, vigor y área foliar, y se incrementan los rendimientos (entre 15 y 50%). Protege las raíces contra ciertos hongos patógenos.



Seguidamente, el biofertilizante permite ahorrar hasta un 50% del volumen de los productos químicos necesarios, lo que favorece la reducción de los insumos y de los costos, e influye en el ejercicio de una agricultura sostenible y ecológicamente más sana. Su gran posibilidad de recuperación en los suelos, consiste en el uso de especies de plantas y hongos, especialmente las raíces; en donde no solo se mejoran las condiciones edáficas del suelo, sino que la formación y absorción de nutrientes de la planta es más alta y claramente representa cambios en las condiciones del área y zona de influencia.

- c. Campañas de capacitación y concientización:** Es ideal que en estas zonas donde claramente las actividades agropecuarias y ganaderas, son las que representan el mayor aporte económico, se presenta claramente la degradación de las condiciones del suelo; por lo tanto se debe enfocar en dar a conocer a las personas como realizar estas actividades de una manera adecuada, es decir de forma sostenible en el tiempo y que exista una garantía que a pesar del desarrollo de la misma, no signifique altos impactos negativos, de aquí deriva la importancia de concientizar y dar a conocer la realidad a estas comunidades.

- d. Fitoestabilización:** Estrategia para absorber del suelo contaminantes, principalmente de procesos como actividades mineras, que generan una degradación considerable de los suelos al liberar metales pesados, con el uso de especies vegetales nativas, las cuales absorben por medio de las raíces los contaminantes, en esta técnica se evita la movilidad de los contaminantes, se previene y se evita la erosión del suelo, lo que puede evitar, mitigar y recuperar suelos degradados.



7. CONCLUSIONES

En el análisis comparativo de la recuperación de suelos en la Finca Villa Bonita en el municipio de San Diego - Cesar, se observó primeramente que las condiciones del suelo, se han visto gravemente afectadas, por la intensificación de las actividades agrícolas, que ha traído consigo la pérdida de fertilidad y erosión en el suelo, claramente esto representa unos impactos negativos ambientales y económicos, para la población que habita en estas tierras.

En la primera etapa del proyecto, con el análisis de la primera caracterización del suelo, se denota que:

- En primera instancia, el Ph atribuye a un suelo considerado alcalino, con exceso de carbonato de calcio, esto hace que retenga nutrientes como el fósforo y el hierro que dificultan la absorción a las plantas; siendo esto unas propiedades físicas desfavorables para cultivar ya que este parámetro es fundamental para elegir el tipo de abono, cabe resaltar que los resultados obtenidos pueden presentar variaciones debido al método utilizado para identificar dicho parámetro, presentando posibles errores.
- Seguidamente, el nitrógeno dictamina un valor deficiente de acuerdo a la tabla de consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelo del IGAC. Donde se atribuye al manejo inadecuado de este suelo por desarrollo de actividad agrícola. El cual acarrea problemas para las plantas ya que hace que el crecimiento de las mismas sea más lento y además muestren un aspecto débil. Al realizar los análisis finales no se observó un aumento muy significativo en la capacidad de fijación de nitrógeno en el suelo, lo cual puede deberse a la poco tiempo de realización de las pruebas. Se recomienda para posteriores estudios considerar un tiempo de evaluación de los de 6 meses en



adelante, permitiendo así que las técnicas tengan una mayor interacción con el suelo y se generen mejores resultados.

- El tipo de textura del suelo y el contenido de materia orgánica, se puede inferir en el pH dando como consecuencia del pH alcalino y la poca presencia material vegetal. Ya que, debido a su proporción desfavorece el desarrollo de una buena estructura, la aireación y capacidad de retención del agua. Además, resulta ser una de las características más preocupante, teniendo en cuenta que esto traduce que la actividad microbiana será baja, ya que estos parámetros son directamente proporcionales, esto se puede observar solo con ver la escasa cobertura vegetal en el suelo, lo que los vuelve mucho más susceptibles a los procesos erosivos, los valores estaban por debajo de los deseables y que ratificaba lo que se había observado a primera vista.
- En última instancia, con respecto a la humedad, suele estar entre los niveles moderados. Ya que la investigación se encuentra ubicada en la zona llana de la llanura del río Cesar, donde es muy apto para el desarrollo de la agricultura tropical y la ganadería con una temperatura promedio de 27 ° C, y la zona montañosa de la Serranía de Piedemonte de Perijá, propicio para el desarrollo agrícola.

Teniendo en cuenta las condiciones del suelo, las técnicas de recuperación fueron: enmienda orgánica, fitorremediación y uso de estiércol; las tres técnicas representaban procesos de aplicación totalmente diferentes y el desarrollo de las actividades y aplicación de los métodos tomo alrededor de 30 a 40 días.

En el caso de la enmienda, era necesario primeramente por medio de pilas elaborar el compost, esto tomo cerca de 30 días y posteriormente se aplicaría en la parcela determinada, esta alternativa, se podría definir como la de mayor complejidad,



teniendo en cuenta que era necesario un proceso previo para su aplicación, pero se destaca que es una excelente medida para de igual manera darle un aprovechamiento a la gran cantidad de residuos que se producen en esta finca.

El uso de la especie *Phaseolus vulgaris*, fue el escogido para la remediación, en primer plano represento la técnica, de mayor facilidad a la hora de su aplicación en comparación de las otras estrategias y adicionalmente estéticamente más agradable, estas especies proporcionan un mejoramiento muy evidente en las condiciones del suelo y su capacidad de reproducción debido a que ayudan a la fijación de macronutrientes en el suelo, los cuales pueden ser aprovechados por otras especies si se lleva a cabo el proceso de triturado de esta planta en el mismo lugar. Existen diversos estudios que demuestran la eficiencia de esta técnica, especificando mayor eficiencia en mayores tiempos de ejecución de la prueba; en el caso del uso del estiércol, el manejo de este tipo de residuos es mucho más complejo por sus características y claramente no es el más agradable.

Finalmente, a la hora de evaluar la eficiencia de las tres técnicas se tuvo en cuenta no solo la capacidad de recuperación, si no la viabilidad técnica y económica del proceso, para lo cual la fitorremediación, fue escogida como la alternativas mas adecuada para recuperar el tipo de suelo de la finca villa bonita, existen diversas plantas y tipos de leguminosas fitorremediadoras y correctoras de pH, las cuales pueden tenerse en cuenta al momento de realizar este tipo de estudios y recuperaciones en suelos, las cuales también cuentan con una alta capacidad de acumulación de nutrientes por las raíces, permite una restauración efectiva; adicionalmente representa muy bajos costos, se puede realizar directamente en el suelo o fuera de él y el personal necesario para su ejecución, no debe ser especializado.



En el desarrollo de esta investigación se pudo brindar una alternativa que permite la recuperación de suelos, altamente viable y que no solo es aplicable en la zona de estudio, si no que puede ser evaluada en zonas cercanas de este municipio, que cuenten con características del suelo similares, se deben tener en cuenta tiempos prolongados para el estudio cercanos o superiores a los 6 meses a fin de obtener mejores resultados y evitar los posibles errores al momento de obtener los resultados finales, ya que se pueden hacer más evaluaciones y comparaciones a lo largo del desarrollo del proyecto de investigación.



8. RECOMENDACIONES

- Es necesario desarrollar campañas dentro de los dueños de predio de estos municipios que viven de las actividades agrícolas, sobre medidas de protección y cuidado del suelo.
- Se deben seguir realizando investigaciones que permitan evaluar otro tipo de alternativas con alta viabilidad técnica y económica.
- Realizar actividades de estudio de las condiciones del suelo, en predios que han sido altamente cultivables y generar programas que permitan la recuperación de estos suelos
- Se debe evaluar y profundizar el estudio de los beneficios y la posibilidad de recuperación de recuperación de suelo, por medio de las diversas especies capaces de realizar fitorremediación no solo in situ si no ex situ.



BIBLIOGRAFÍA

- Agredo, D. (2014). *COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA (Lactuca sativa) EN UN SUELO REHABILITADO CON ABONO ORGÁNICO BOCASHI Y EL MISMO SUELO CON FERTILIZANTE QUÍMICO N-P-K*. Cali.
- Alcaldía de San Diego. (2 de Abril de 2020). *Municipio de San diego*. Obtenido de Municipio de San diego: <http://www.sandiego-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Alcaldia Mayor de Bogota D.C. (2012). *GUÍA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA*. Bogota D.C.
- Andrade, M., & Martinez, M. (2014). *FERTILIDAD DEL SUELO Y PARÁMETROS*. Servicio de Publicaciones.
- Arcila, L. (2016). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE PRODUCTOS PARA LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON DIESEL (UN 1202) UTILIZANDO MÉTODOS DE BIOESTIMULACIÓN Y BIOAUMENTACIÓN A ESCALA PILOTO*. Bogota D.C.
- Arias A., Rivera-Cruz M., (2017). *FITOTOXICIDAD DE UN SUELO CONTAMINADO CON PETRÓLEO FRESCO SOBRE Phaseolus vulgaris L. (LEGUMINOSAE)*. México
- Barrera, S. (2016). *Mecanismos morfofisiológicos asociados con la tolerancia a altas temperaturas en fríjol común, Phaseolus vulgaris L.* Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Bermudez, A. (2013). *RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL SALITRE EN BOGOTÁ D. C.* Bogota.



- Bermudez, A. (2013). *RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE BIOSÓLIDO PRODUCIDO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL SALITRE EN BOGOTÁ D. C.* Bogota.
- Casierra, F., & Aguilar, O. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-257.
- CONTI, M. coord. et al. 1998. *Principios de edafología: con énfasis en suelos argentinos.* Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina.
- Cordero, J. (2015). *FITORREMEDIACIÓN IN SITU PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS (PLOMO Y CADMIO) Y EVALUACIÓN DE SELENIO EN LA FINCA FURATENA ALTA EN EL MUNICIPIO DE ÚTICA (CUNDINAMARCA.* Bogota.
- CORPOCESAR. (2016). *identificación, formulación e implementación de medidas integrales para la conservación y recuperación del recurso suelo.* Valledupar.
- CORPOCESAR. (2019). *Restauración Ecológica Integral del Cesar.*
- Díaz, L. (2017). *REMEDIACIÓN DE SUELOS ALTERADOS POR ACTIVIDAD DE MINERÍA DEL CARBÓN A CIELO ABIERTO, MEDIANTE APLICACIÓN DE BIOCHAR PROCEDENTE DE RESIDUOS BIOMÁSICOS DE LA PALMA DE ACEITE EN LA ZONA CARBONÍFERA DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR.* Medellín.
- Díaz, L., & Perez, J. (2018). *CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS EN LOS MUNICIPIOS DE LA JAGUA DE IBIRICO Y BECERRIL CENTRO DEL DEPARTAMENTO DEL CESAR.* Valledupar.
- Garrido, S. (2005). *INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS.*
- Gutierrez, M. (2014). *Tipos de investigación para una tesis de grado.*



- Hernández Dilsa, Viteri Silvio E.(2006). Selección de abonos verdes para el manejo y rehabilitación de los suelos sulfatados ácidos de Boyacá (Colombia)
- IDEAM. (2015). *Estudio nacional de laa DEGRADACIÓN DE SUELOS POR EROSIÓN en Colombia 2015*. Bogota D.C.
- IGAC. (2006). *Guia de muestreo*.
- Lazaro, J. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados*.
- Murillo, J. (2002). *MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE EXPERIMENTAL*.
- Noda Yolai (2009). *Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos*. Matanzas, Cuba.
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). *técnicas de recuperación de suelos contaminados*.
- Palomino, K., & Farelo, Y. (2018). *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES EDÁFICAS RELACIONADAS CON LA INCLUSIÓN DE GLIRICIDIA SEPIUM EN LA REHABILITACIÓN DE SUELOS DEGRADADO POR LA EXPLOTACIÓN DE ARCILLA, EN LA VEREDA LAS CASITAS, VALLEDUPAR - CESAR*. Valledupar.
- Pizarro, R., & Saavedra, J. (1999). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN DE SUELOS EN ÁREAS DEGRADADAS; EFECTOS EN LA HUMEDAD DEL SUELO LA SOBREVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE PINUS RADIATA D. DON. MICROCUENCA DEL ESTERO BARROSO, VII REGIÓN*. Talca.
- Rincones, M., & Ensucho, R. (1989). *RESPUESTA DEL ALGODONERO (Gossypium hirsutum L.) A LA FERTILIZACION CON NITROGENO Y FOSFORO EN LA REGION DE CODAZZI (CESAR) Y ANÁLISIS ECONOMICO DE LA PRODUCCION*. Santa marta.
- UNAL. (2011). *El Plan Estratégico Regional de Ciencia Tecnologia e innovación – PERCTI – para el departamento del Cesar*. Bogota D.C.



- Velasquez, M., & Veslazque, M. (2016). *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL ABONO ORGÁNICO OBTENIDO DE LOS RESIDUOS VEGETALES DE LA PLAZA DE MERCADO DEL MUNICIPIO DE SAN GIL EN EL CULTIVO DE MANDARINA ARRAYANA*. Caldas.
- Xiong, J. (2015). *RECUPERACIÓN Y REHABILITACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON ELEMENTOS TRAZA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS Y EL ESTABLECIMIENTO DE UNA CUBIERTA VEGETAL NATURAL O DE UNA PLANTA DE CRECIMIENTO RÁPIDO (PAULOWNIA FORTUNEI)*. Sevilla.
- Zúñiga, O., Osorio, J. C., Cuero, R., & Peña, J. (2011). *Evaluación de Tecnologías para la Recuperación de Suelos*.



ANEXO A

RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO DE PARAMETROS FISISCOQUIMICOS INICIALES. EN EL LABORATORIO NANCY FLÓRES

LABORATORIOS NANCY FLÓRES GARCÍA S.A.S

Nancy Flóres García S.A.S
 Confidabilidad a toda prueba
 N°: B24.005.568-D

COD: RO-104 Ver: 08 del 17 de Agosto de 2018

CERTIFICADO DE ANALISIS
 N° 35223

INFORMACIÓN DEL CLIENTE
 EMPRESA : María Cristina López Altamar
 DIRECCIÓN : Diag 14926th-25 fundadores
 CONTACTO : María Cristina López Altamar
 CARGO : Representante Legal

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA
 NOMBRE : SUELOS
 LUGAR DE MUESTREO : SAN DIEGO
 PUNTO DE MUESTREO : FINCA VILLA BONITA
 TIPO DE MUESTRA : SIMPLE
 PLAN DE MUESTREO : N.S
 PROC. DE MUESTREO : N.S

NIT : 1'065.830.817
 CIUDAD : VALLEDUPAR
 TELEFONO : 3168798586

HORA MUESTRA : 13:00
 MUESTREO : 2020/09/08
 RECEPCION : 2020/09/08
 INICIO ENSAYOS : 2020/09/14
 FINAL ENSAYOS : 2020/10/13
 INFORME : 2020/10/13

CODIGO : 200959809
 LOTE : N.A
 REGISTRO INVIMA : N.A

ANÁLISIS	Fisicoquímico		LCM	FECHA ANALISIS	RESULTADO
	MÉTODO - TÉCNICA				
Humedad %	IGAC ED.6 - Gravimétrico		-	2020/09/11	8,77
Materia Organica %	IGAC ED.6 - Titulométrico		-	2020/10/08	0,238
Nitrogeno Total mg/Kg	SM 4500-Norg B / SM 4500-NH3 B,C - Titulométrico		-	2020/10/08	296
pH	SM 4500-H+ B - Electrométrico		-	2020/09/14	9,28

NOTA :
 Muestra tomada y traída al laboratorio por el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado
 (A): Acreditado (S): Subcontratado (LCM): Limite de cuantificación del método

Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
 Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
 El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.
 No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.
 Cuando se coloque la sigla N.S en la Fecha de Analisis, indica que el Laboratorio Subcontratado no la ha suministrado en el certificado de analisis entregado
 Para los ensayos microbiológicos y DBO, la fecha de analisis corresponde a la fecha de inicio de los mismos. La fecha de finalización cumplen en cada caso los tiempos establecidos en el método.

Laboratorio Acreditado por el IDEAM según Resolución N° 0398 de 02 de mayo 2019 " por la cual se renueva y se extiende la acreditación al LABORATORIO AMBIENTAL Y DE ALIMENTOS NANCY FLORES GARCIA de la SOCIEDAD LABORATORIOS NANCY FLORES GARCIA SAS., para producir información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes y de carácter oficial, relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

APROBO

 KARINA CAMPO
 TP: PQ-2859
 Coordinador Técnico de Laboratorio
 Fin de Informe

Página 1 de 1

Telefonos: (5)5842072 Fax:5703920-3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflores.com.co
 Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar



ANEXO B

RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIO DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS FINALES. EN EL LABORATORIO NANCY FLÓRES

CERTIFICADO DE ANALISIS
N° 49864

COD: RO-104 Ver: 08 del 17 de Agosto de 2018

INFORMACIÓN DEL CLIENTE
 EMPRESA : María Cristina López Altamar
 DIRECCIÓN : Dlgg 19A 26a-25 fundadores
 CONTACTO : María Cristina Lopez Altamar
 CARGO : Representante Legal

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA
 NOMBRE : SUELOS
 LUGAR DE MUESTREO : SAN DIEGO
 PUNTO DE MUESTREO : FINCA VILLA BONITA
 TIPO DE MUESTRA : SIMPLE
 PLAN DE MUESTREO : N.S
 PROC. DE MUESTREO : N.S

CODIGO : 200959809
 LOTE : N.A
 REGISTRO INVIMA : N.A

NIT : 1'065.830.817
 CIUDAD : VALLEDUPAR
 TELÉFONO : 3168798586

HORA MUESTRA : 11:00
 MUESTREO : 2021/01/27
 RECEPCIÓN : 2021/01/27
 INICIO ENSAYOS : 2021/02/01
 FINAL ENSAYOS : 2021/03/01
 INFORME : 2021/03/01

ANÁLISIS	Fisicoquímico		LCM	FECHA ANÁLISIS	RESULTADO
	MÉTODO - TÉCNICA				
Humedad %	IGAC ED.6 - Gravimétrico		-	2021/01/27	6,95
Materia Orgánica %	IGAC ED.6 - Titulométrico		-	2021/02/26	1,24
Nitrogeno Total mg/Kg	SM 4500-Norg B / SM 4500-NH3 B,C - Titulométrico		-	2021/02/26	381
pH	SM 4500-H+ B - Electrométrico		-	2021/01/29	7,2

NOTA :
Muestra tomada y traída al laboratorio por el cliente.

N.A: No Aplica N.S: No Suministrado
 (A): Acreditado (S): Subcontratado (LCM): Limite de cuantificación del método
 Todo resultado del laboratorio está respaldado por una marca que verifica su autenticidad.
 Resultado no controlado una vez entregado al cliente.
 El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.
 No se permite la reproducción parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.
 Cuando se coloque la sigla N.S en la Fecha de Análisis, indica que el Laboratorio Subcontratado no la ha suministrado en el certificado de análisis entregado
 Para los ensayos microbiológicos y DBO, la fecha de análisis corresponde a la fecha de inicio de los mismos. La fecha de finalización cumplen en cada caso los tiempos establecidos en el método.
 Laboratorio Acreditado por el IDEAM según Resolución N° 0398 de 02 de mayo 2019 " por la cual se renueva y se extiende la acreditación al LABORATORIO AMBIENTAL Y DE ALIMENTOS NANCY FLORES GARCÍA de la SOCIEDAD LABORATORIOS NANCY FLORES GARCIA SAS, para producir información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes y de carácter oficial, relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

APROBO

 KARINA CAMPO
 Coordinador Técnico de Laboratorio
 Fin de Informe

Página 1 de 1

Teléfonos: (5)5842072 Fax: 5703920-3145060908 E-mail: calidad.amb@labsnancyflorez.com.co
 Carrera 15No. 13C - 72 Esquina - Valledupar