





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**RECUPERACIÓN DEL SUELO ESTÉRIL MEDIANTE EL PROCESO DE
BIORREMEDIACIÓN POR MEDIO DE LA *GUAZUMA ULMIFOLIA*
(GUÁCIMO) Y LA ESPECIE *CARDAMINOPSIS ARENOSA* EN EL
CORREGIMIENTO DE GUAYMARAL, CESAR**

AUTOR (ES):

**PEDRO PABLO ZAMORA JIMENEZ
SADY FERNANDO JIMÉNEZ MANJARREZ**

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

2022

**RECUPERACIÓN DEL SUELO ESTÉRIL MEDIANTE EL PROCESO DE
BIORREMEDIACIÓN POR MEDIO DE LA *GUAZUMA ULMIFOLIA*
(GUÁCIMO) Y LA ESPECIE *CARDAMINOPSIS ARENOSA* EN EL
CORREGIMIENTO DE GUAYMARAL, CESAR**

AUTOR (ES):

PEDRO PABLO ZAMORA JIMENEZ
SADY FERNANDO JIMÉNEZ MANJARREZ

DIRECTOR / ASESOR:

ORLANDO ENRIQUE RUBIANO LARA

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

2022

DEDICATORIA

Primeramente las gracias a Dios por habernos acompañado en este proceso de formación dotándonos de vida, salud y los medios idóneos; a nuestros padres Yuselys Elena Jiménez Altamar, Juan Pablo Zamora Álvarez, Nelcy Manjarrez Capera y Rogelio Jiménez Córdoba, por haber dedicado sus vidas a brindarnos el apoyo necesario para culminar con éxito cada etapa de nuestras vidas, incluyendo ésta que es una de las más importantes. A mis profesores, especialmente a nuestro director de grupo Orlando Rubiano, por transmitirnos sus conocimientos a lo largo de la elaboración de este proyecto, a los profesores Karina Torres y Héctor Segura quienes fueron los evaluadores de este proyecto que con su gran sabiduría y aporte pudimos corregir y mejorar nuestro trabajo de grado llegando así a esta etapa final.

PEDRO PABLO ZAMORA JIMENEZ





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijos, son los mejores padres.

A nuestros hermanos (as) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

PEDRO PABLO ZAMORA JIMENEZ

SADY FERNANDO JIMENEZ MANJARREZ

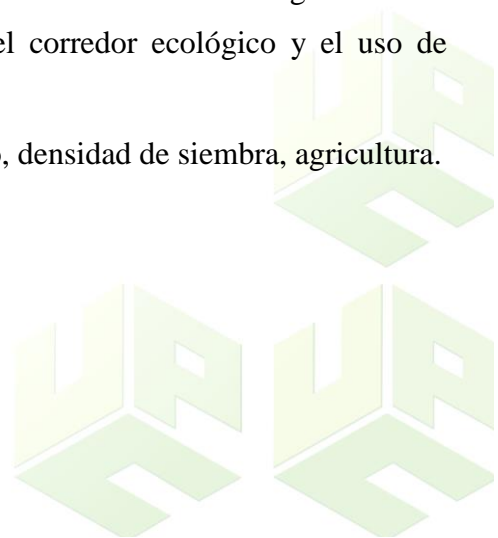




RESUMEN Y ABSTRACT

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre en la que viven numerosos organismos y crece la vegetación. La biorremediación surge de la necesidad de disminuir el impacto ambiental que esto conlleva, con el fin de detoxificar contaminantes en los diferentes ambientes (mares, lagos, ríos, estuarios y suelos) usando microorganismos, plantas o enzimas de estos, de manera estratégica. La investigación tenía por objeto recuperar el suelo estéril mediante el proceso de biorremediación por medio de la *Guazuma ulmifolia* (Guácimo) y la especie *Cardaminopsis arenosa* en el corregimiento de Guaymaral, Cesar. Se realizó por medio de una caracterización física, química y microbiológicamente de los suelos estériles. Establecimiento del diseño de parcelamiento y densidad de siembra ideales para la instalación de las especies, determinación del porcentaje de recuperación del suelo sometido a biorremediación por la especie *Guazuma ulmifolia* y la especie de monitoreo *Cardaminopsis arenosa* y diseño de estrategias para fomentar el desarrollo incipiente de técnicas de recuperación de suelos. Se evidenció una mayor eficiencia del tratamiento en la parcela número dos, la cual fue sembrada con *Guazuma ulmifolia*, con un porcentaje del 52.0477%, seguida de la parcela 1, con un 48.97%, por lo que se puede deducir que, la especie *Guazuma ulmifolia*, presenta mayores características para ser usada como especie de biorremediación en suelos. Se realizó una charla con los habitantes del corregimiento de Guaymaral, Cesar. Entre las estrategias se mencionó el corredor ecológico y el uso de compost elaborado en las mismas casas.

Palabras claves: Biorremediación, degradación del suelo, densidad de siembra, agricultura.





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



ABSTRACT

Soil is the surface layer of the earth's crust in which numerous organisms live and vegetation grows. Bioremediation arises from the need to reduce the environmental impact that this entails, to detoxify contaminants in different environments (seas, lakes, rivers, estuaries, and soils) strategically using microorganisms, plants, or enzymes. The purpose of the research was to recover the sterile soil through the bioremediation process using *Guazuma ulmifolia* (Guácimo) and the *Cardaminopsis arenosa* species in the district of Guaymaral, Cesar. It was carried out through a physical, chemical, and microbiological characterization of sterile soils. Establishment of the ideal plot design and planting density for the installation of the species, determination of the percentage of recovery of the soil subjected to bioremediation by the species *Guazuma ulmifolia* and the monitoring species *Cardaminopsis arenosa*, and design of strategies to promote the incipient development of techniques soil recovery. A greater efficiency of the treatment was evidenced in plot number two, which was planted with *Guazuma ulmifolia*, with a percentage of 52.0477%, followed by plot 1, with 48.97%, so it can be deduced that, the species *Guazuma ulmifolia*, presents greater characteristics to be used as a species of bioremediation in soils. A talk was held with the inhabitants of the district of Guaymaral, Cesar. Among the strategies, the ecological corridor and the use of compost made in the same houses were mentioned.

Keywords: Bioremediation, soil degradation, planting density, agriculture

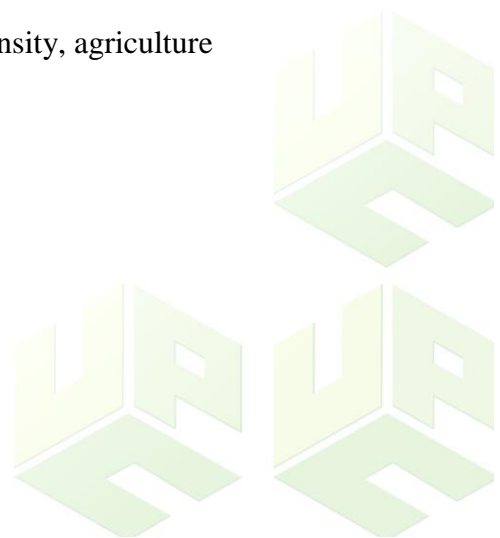


Tabla de contenidos

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN Y ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	11
1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2.JUSTIFICACIÓN	15
3.OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. MARCO REFERENCIAL	18
4.1 ANTECEDENTES:	18
4.2 MARCO	TEÓRICO
.....	21
4.3 MARCO CONCEPTUAL	29
4.4 MARCO CONTEXTUAL.....	32
4.5 MARCO LEGAL.	34
5.MARCO METODOLÓGICO.	39
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	55
6.1 Caracterización física, química y microbiológicamente los suelos esteriles del corregimiento de Guaymaral, Cesar.	55
6.2 <i>Establecimiento del diseño de parcelamiento y densidad de siembra ideales para la instalación de las especies.</i>	63



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



<i>6.3 Determinación del porcentaje de recuperación del suelo sometido a biorremediación por la especie Guazuma ulmifolia y la especie de monitoreo Cardaminopsis arenosa... 67</i>	
<i>6.4: Diseño de estrategias para fomentar el desarrollo incipiente de técnicas de recuperación de suelos en el corregimiento de Guaymaral, Cesar. 87</i>	
7. CONCLUSIONES	92
8. RECOMENDACIONES	94
9. BIBLIOGRAFÍA	95
10. ANEXOS	98

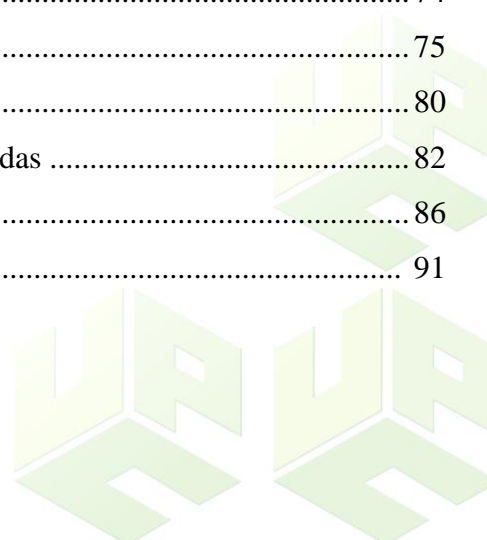


LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Aportes de elementos nutritivos de árboles de Guácimo (<i>G. ulmifolia</i>) al suelo...	27
Tabla 2	Normatividad del recurso suelo.....	34
Tabla 3	Asignación cuantitativa de valores correspondientes a las variables físicas según Altieri & Nicholls (2002)	40
Tabla 4	Densidad de siembra por m ² por especie	47
Tabla 5	Asignación cuantitativa de valores correspondientes a las variables físicas según Altieri & Nicholls (2002)	48
Tabla 6	Características del parcelamiento	55
Tabla 7	Características fisicoquímicas del suelo.....	60
Tabla 8	Caracterización microbiológica.....	62
Tabla 9	Diseño de parcelamiento	64
Tabla 10	Densidad de siembra por m ² por especie	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 11	Seguimiento a parcela 1.....	67
Tabla 12	Seguimiento a parcela 2.....	69
Tabla 13	Seguimiento a parcela 3.....	71
Tabla 14	Seguimiento a parcela 4.....	73
Tabla 15	Caracterización fisicoquímica parcela 1.....	76
Tabla 16	Caracterización fisicoquímica parcela 2.....	77
Tabla 17	Caracterización fisicoquímica parcela 3.....	78
Tabla 18	Caracterización fisicoquímica parcela 4.....	79
Tabla 19	Caracterización microbiológica.....	81
Tabla 20	Análisis de los datos de las caracterizaciones de suelos antes y después.....	82
Tabla 21	Análisis de caracterización microbiológica.....	85
Tabla 22	Eficiencia de tratamiento por parcela	86
Tabla 23	Condiciones nivel ideal	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Guazuma Ulmifolia.....	28
Figura 2 Cardaminopsis arenosa	29
Figura 3 Guaymaral-Cesar	32
Figura 4 Guaymaral-Cesar	33
Figura 5 Plano general de las instalaciones de las parcelas experimentales.	46
Figura 6 Parcelamiento.....	56
Figura 7 Toma de muestras con pala.....	57
Figura 8 Toma de muestras	59
Figura 9 Suficiencia nutricional	61
Figura 10 Entidades patogénicas y no patogénicas identificadas.....	62
Figura 11 Labranza del terreno.....	64
Figura 12 Trazado escogido para la siembra.....	66
Figura 13 Siembra establecida	66
Figura 14 Seguimiento parcela 1	68
Figura 15 seguimiento parcela 2	70
Figura 16 Seguimiento parcela 3.....	72
Figura 17 Seguimiento parcela 4.....	74
Figura 18 Crecimiento de las especies sembradas	75
Figura 19 Suficiencia nutricional	80
Figura 20 Entidades patógenas y no patógenas identificadas	82
Figura 21 Eficiencia de tratamiento por parcela.....	86
Figura 22 Charla con los habitantes	91





INTRODUCCIÓN

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre en la que viven numerosos organismos y crece la vegetación. Es una estructura de vital importancia para el desarrollo de la vida. El suelo sirve de soporte a las plantas y le proporciona los elementos nutritivos necesarios para su desarrollo. Teniendo esto en cuenta debemos aclarar que el presente proyecto se llevará a cabo con la finalidad de recuperar esos suelos que se han ido perdiendo con el paso del tiempo por los altos índices de contaminación por medio de pesticidas, la agricultura y la ganadería en el corregimiento de Guaymaral- Cesar por medio de uno de los árboles nativos de la región (Guácimo).

El impacto ambiental de las acciones provenientes del ser humano en cuanto al deterioro del suelo en Colombia ha dejado miles de hectáreas afectadas, sin dejar a un lado los kilómetros de ríos y quebradas. Estos daños a las fuentes hídricas, suelos, aire, fauna y vegetación, causados por los diferentes actos ya sean de carácter natural o como resultado de la actividad del ser humano, son prácticamente irremediables, ya que los procesos de descontaminación no alcanzan a cubrir todas las áreas afectadas y se realizan mucho tiempo después de que el daño haya penetrado al ecosistema.

La biorremediación surge de la necesidad de disminuir el impacto ambiental que esto conlleva, con el fin de detoxificar contaminantes en los diferentes ambientes (mares, lagos, ríos, estuarios y suelos) usando microorganismos, plantas o enzimas de estos, de manera estratégica. Gracias a la biotecnología se han desarrollado diversas estrategias con el fin de restaurar el suelo y la calidad ambiental, de acuerdo con las necesidades y dimensiones del problema.

Con respecto a los aspectos anteriores, esta investigación nos lleva a buscar e implementar alternativas que permitan dar una posible solución, un control y un manejo adecuado a los efectos causados por los diferentes métodos de contaminación por medio de la biorremediación a partir de la *Guazuma Hulmifolia* (Guácimo), a fin de prevenir grandes

afectaciones en la parte ambiental, social y en la salud pública de los habitantes aledaños a éste corregimiento.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Estado del Informe Mundial sobre Recursos del Suelo (SWSR), 2018, identificó la contaminación del suelo como una de las principales amenazas que afectan los suelos del mundo y los servicios a los ecosistemas que éstos proporcionan.

Por otra parte, según la Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura, 2019, la contaminación del suelo reduce la seguridad alimentaria al disminuir los rendimientos agrícolas debido a los niveles tóxicos de los contaminantes y al ocasionar que las cosechas producidas en suelos contaminados sean peligrosas para el consumo de animales y humanos.

La cantidad y diversidad de contaminantes se encuentra en constante incremento a causa del desarrollo agroquímico e industrial (FAO y GTIS, 2015). La industrialización, las guerras, la minería y la intensificación en la agricultura han dejado un legado de suelos contaminados en todo el mundo (Bundschuh et al., 2014). La presencia de ciertos contaminantes también puede producir desequilibrios en los ciclos de nutrientes y la acidificación del suelo, dos aspectos importantes en muchas partes del mundo (FAO y GTIS, 2015).

Muchos contaminantes son transportados del suelo a las aguas superficiales y a las aguas subterráneas, ocasionando daño ambiental a través de la eutrofización y problemas directos a la salud humana por agua para consumo contaminada. Los contaminantes también dañan directamente a los microorganismos del suelo y a organismos mayores que viven en el suelo y por tanto afectan la biodiversidad del suelo y el servicio que prestan los organismos afectados (FAO, 2019).

Las principales actividades económicas del corregimiento de Guaymaral son la ganadería, agricultura y minería, por ende, se encuentra expuesto a constante contaminación, tanto de partículas (y otros contaminantes), emitidas por la explotación de carbón, las cuales son arrastradas por el viento, alterando la calidad del aire, representando un riesgo en la salud de las personas expuestas, que se pueden traducir en problemas respiratorios y

cardiovasculares como irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar (EPA, 2015).

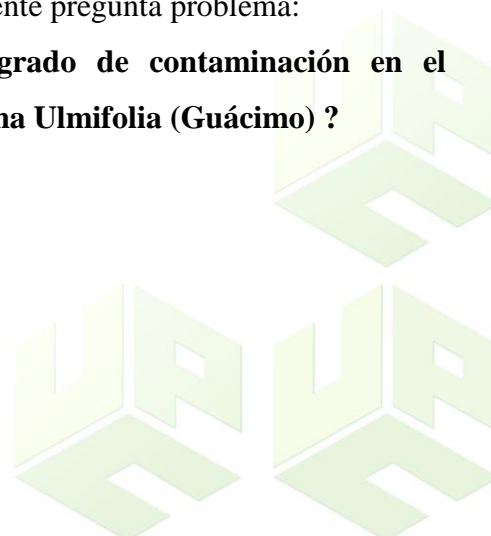
Otra de las problemáticas actuales debido a las actividades económicas en el corregimiento de Guaymaral, es la degradación de sus suelos debido al uso intensivo de los agroquímicos para los cultivos y las fuertes compactaciones producidas por la ganadería.

Según la FAO, 2008, La ganadería ocupa 30% de la superficie del planeta y en diversos lugares es la fuente principal de contaminación del suelo, modelando paisajes enteros y reduciendo el hábitat natural con su demanda de tierra para la producción de pastos, forrajes, granos forrajeros y otros insumos agrícolas que intervienen en la alimentación del ganado, además, los animales y sus excretas emiten gases que contribuyen al cambio climático.

Por otra parte, el uso intensivo de agroquímicos puede presentar problemas relacionado con la eliminación de organismos que no son de interés dentro de las aplicaciones (especies no blanco), contaminación de ecosistemas acuáticos, efectos de resistencia de poblaciones de plagas, entre otros. El uso de químicos como los ciclodienos, carbamatos y organofosforados está disminuyendo lentamente, pero en general mantienen una participación del 50% en el mercado mundial de los plaguicidas (Liess y Schulz, 1999).

Conforme a lo anterior hemos formulado la siguiente pregunta problema:

¿Es posible remediar los suelos con alto grado de contaminación en el corregimiento de Guaymaral por medio de la Guazuma Ulmifolia (Guácimo) ?





2.JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, con el desarrollo de nuevas tecnologías donde se aplican diferentes técnicas, si es posible inducir procesos de biorremediación ante la presencia de ciertos contaminantes. Por otro lado, actualmente se sabe de la existencia de microorganismos en todos los ambientes, incluso en los más inhóspitos e increíbles, desde el punto de vista antropocéntrico. Algunos incluso han demostrado tener capacidades metabólicas para tolerar, degradar, utilizar como sustrato para su crecimiento gran variedad de compuestos, como por ejemplo, los hidrocarburos (Carballo, 2009).

En el desarrollo de este proyecto llevaremos a cabo los tres elementos que constituyen el medio físico, nos centraremos en el estudio del suelo, que tiene unos condicionantes específicos, pues mientras la composición del aire o del agua se puede medir y responde a valores estándares definidos globalmente, es mucho más complejo definir la calidad del suelo al no tener unos constituyentes fijos que marquen una composición ideal, es más, los parámetros a medir están en función del uso o del lugar que ocupa en el ecosistema, lo que hace más necesario su conocimiento.

Este trabajo pretende dar una visión general de las soluciones que se están investigando para la recuperación de suelos contaminados, concretamente la utilización de técnicas biorremediadoras, es decir, tratamiento del suelo mediante procesos biológicos. Para ello dividiremos el tema en varios apartados. En primer lugar, analizaremos el concepto de suelo y su importancia dentro del medio, en segundo lugar trataremos las causas que originan la contaminación, tanto desde el punto de vista del elemento contaminador, como desde el punto de vista del proceso que tiene lugar. A continuación describiremos las distintas fuentes y tipos de contaminantes que están afectando a la población del corregimiento de Guaymaral-Cesar, para terminar con la descripción de los efectos y procesos involucrados en la reducción o eliminación de sustancias tóxicas por medios biológicos.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



La contaminación del suelo supone la alteración de la superficie terrestre con sustancias químicas que resultan perjudiciales para la vida en distinta medida, poniendo en peligro los ecosistemas y también nuestra salud.

En relación con lo anterior, la investigación se realizara en el corregimiento de Guaymaral-Cesar. A nivel personal, llevar a cabo el desarrollo de este proyecto es de vital importancia, puesto que servirá para poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el proceso académico en la universidad. En relación con lo anterior es importante destacar que el sitio de estudio se refiere al corregimiento Guaymaral del municipio de Valledupar, que con el tiempo éste se ha visto afectado y se han venido deteriorando los diversos factores ambientales y sociales que lo rodean, los cuales lo han llevado a un grado preocupante de contaminación, especialmente generando suelos estériles.

Por otro lado, a nivel práctico esta investigación llega a representar una oportunidad importante ya que tiene como objeto de estudio aplicar un tratamiento por medio de la biorremediación, que permitiera evaluar la eficiencia de la Guazuma Ulmifolia (Guácimo) en la biorremediación de suelos. Finalmente, con los resultados obtenidos en este proyecto se pretende dar una alternativa de nuevas tecnologías para la remoción de esta problemática tan importante que afecta al corregimiento de Guaymaral del municipio de Valledupar.





3.OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Recuperar el suelo estéril mediante el proceso de biorremediación por medio de la *Guazuma ulmifolia* (Guácimo) y la especie *Cardaminopsis arenosa* en el corregimiento de Guaymaral, Cesar

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar física, química y microbiológicamente los suelos esteriles del corregimiento de Guaymaral, Cesar.
- Establecer el diseño de parcelamiento y densidad de siembra ideales para la instalación de las especies.
- Determinar el porcentaje de recuperación del suelo sometido a biorremediación por la especie *Guazuma ulmifolia* y la especie de monitoreo *Cardaminopsis arenosa*.
- Diseñar estrategias para fomentar el desarrollo incipiente de técnicas de recuperación de suelos en el corregimiento de Guaymaral, Cesar.



4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES:

Dávila, N., (2018), desarrolló la investigación titulada: capacidad biorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre (*Guazuma ulmifolia*), con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros el Sinchao, distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca –Perú, 2017, para optar por el título de ingeniero ambiental en la Universidad Privada del Norte, Perú. La investigación tenía por objeto determinar la capacidad biorremediadora de la especie de flora herbácea silvestre *Guazuma ulmifolia* con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros. Se dividió en 3 etapas. La primera etapa fue identificar en que parte de la planta existe mayor acumulación de metales pesados, la segunda etapa, fue establecer la relación existente entre las concentraciones de metales en el suelo y en la especie *Guazuma ulmifolia*, por último, determinar el factor de bioconcentración (BCF) y factor de traslocación (TF). En los resultados se identificó que la especie *Guazuma ulmifolia*, acumula la mayor cantidad de metales pesados (mg/kg), como el Aluminio (2844.6), Mercurio (0.3), Antimonio (13), Estaño (1.4), Zinc (760.2), Cromo (3.86) y Níquel (3.59). Asimismo, la concentración de metales pesados se da en la parte de la raíz. Esta investigación es relevante y aporta a la nuestra el modelo metodológico implementado, además de ser una base teórica de la eficiencia de recuperar suelos a través de la biorremediación.

Pérez, I., (2012), desarrolló la investigación titulada: Germinación y sobrevivencia de la especie arbórea *Guazuma ulmifolia* que crecen en suelos contaminados por hidrocarburos, en la Universidad de Quintana Roo, México. El objeto de la investigación fue evaluar la germinación y sobrevivencia de siete especies arbórea de *Guazuma ulmifolia*, las cuales fueron seleccionadas con base en su capacidad para crecer sobre suelos contaminados y en sus características de usos múltiples que puedan ser aprovechadas por los productores. Se realizó por 3 etapas. La primera fue la instalación en un vivero establecido en las instalaciones de El Colegio de la Frontera Sur, con condiciones de humedad controlada y bajo sombra al 60%, la segunda etapa fue la



inmersión en agua hirviendo, remojo en ácido sulfúrico y sin tratamiento o control de la especie. Y, por último, se midió la capacidad de germinación y sobrevivencia de plántulas. Se encontró que la especie presentó porcentajes de germinación mayores a 80%, lo que la hace óptima para el tratamiento de suelos contaminados. La investigación es relevante ya que proporciona información sobre el manejo y las técnicas de germinación de las especies utilizadas, las cuales pueden ser aplicadas para la reforestación en áreas con suelos contaminados por hidrocarburos. La investigación aporta a la nuestra una base metodológica que nos permite observar la eficiencia de la biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos y una guía para el desarrollo de la investigación.

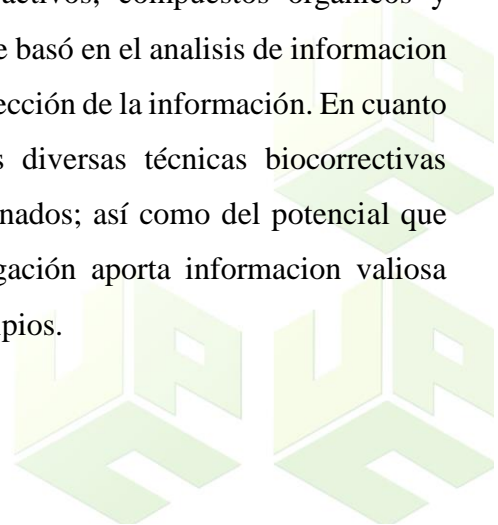
Ochoa, S. et. Al (2011), desarrollaron la investigación titulada: Estudio prospectivo de la especie arbórea *Guazuma ulmifolia* promisorio para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, en la Universidad de Frontera Sur, México. La investigación tenía por objeto evaluar la bibliografía existente de la especie arbórea *Guazuma ulmifolia* como promisorio de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en suelos de Tabasco, México. Se dividió en 2 etapas. La primera etapa consistió en la recopilación de la información obtenida por fuentes de colegios y universidades públicas, y la segunda etapa fue la evaluación y valoración de esta información. Los resultados permiten evidenciar que la especie *Guazuma ulmifolia* crece en ambiente y suelos contaminados con hidrocarburos con una efectividad del 65%.

Duran, P., (2011), desarrolló la investigación titulada: Transferencia de metales de suelo a plantas *Cardaminopsis arenosa* en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana, para optar por el título de doctora en biología de la Universidad de Barcelona. El objetivo de la investigación fue investigar comparativamente la tolerancia de las respectiva *Cardaminopsis arenosa* frente al impacto de los metales del suelo en dos localidades diferentes: Hualgayoc, Cajamarca (Perú) en la zona andina y Poblet, Tarragona (España) en el área mediterránea. La



investigación se dividió en 3 etapas: la primera fue evaluar los parámetros convencionales y el contenido de metales pesados de los suelos superficiales inmediatos a las zonas de explotación minera estudiadas, la segunda etapa consistió en analizar la composición en metales pesados de la especie, y, por último, evaluar las estrategias usadas por la especie ante un foco de contaminación. Los resultados mostraron que la especie *Cardaminopsis arenosa* es capaz de crecer en suelos con un alto contenido de metales pesados y tiene la habilidad de acumularlos en sus tejidos. Además, acumula elevadas cantidades de metales pesados, especialmente Pb (50000 mg·kg⁻¹) y Zn (10000 mg·kg⁻¹), por exclusión en la raíz. La investigación permite evidenciar la capacidad de la especie para biorremediar y crecer en suelos con altas contaminaciones de metales pesados.

Delgadillo A; Abelardo C; Prieto F; Villagómez R, (2011), realizaron la investigación titulada: Biorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación en los suelos, en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Centro de Investigaciones Químicas. Carr. Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. La finalidad del estudio consistió en aprovechar la capacidad de ciertas plantas como la *Cardaminopsis arenosa* para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Su metodología se basó en el análisis de información documental a través de la revisión bibliográfica y recolección de la información. En cuanto a los resultados, se presentó un panorama de las diversas técnicas biocorrectivas empleadas para restaurar suelos y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas. Esta investigación aporta información valiosa acerca de las técnicas de biorremediación y sus principios.



4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Contaminación del suelo

El término “contaminación del suelo” se refiere a la presencia en el suelo de un químico o una sustancia fuera de sitio y/o presente en una concentración más alta de lo normal que tiene efectos adversos sobre cualquier organismo al que no está destinado. (FAO y GTIS. 2015). Aunque la mayoría de los contaminantes tiene origen antropogénico, algunos contaminantes pueden ocurrir naturalmente en los suelos como componentes de minerales y pueden ser tóxicos en concentraciones altas. Con frecuencia, la contaminación del suelo no puede ser evaluada directamente o percibida visualmente, convirtiéndola en un peligro oculto. La cantidad y diversidad de contaminantes se encuentra en constante incremento a causa del desarrollo agroquímico e industrial.

Esta diversidad y la transformación en los suelos por la actividad biológica de los componentes orgánicos en diversos metabolitos hacen que los estudios de suelos para identificar a los contaminantes sean complejos y costosos. Los efectos de la contaminación del suelo también dependen de las propiedades de éste, ya que controlan la movilidad, biodisponibilidad y tiempo de residencia de los contaminantes (FAO y GTIS, 2015). La industrialización, las guerras, la minería y la intensificación en la agricultura han dejado un legado de suelos contaminados en todo el mundo (Bundschuh et al., 2012; DEA, 2010, EEA, 2014; Luo, et al., 2009, SSR, 2010). Desde la expansión urbana, el suelo ha sido utilizado como vertedero de desechos sólidos y líquidos. Se consideraba que una vez enterrados y fuera de la vista, los contaminantes no representarían riesgo alguno para la salud humana o el medio ambiente y que de alguna forma desaparecerían (Swartjes, 2011).

Las principales fuentes de contaminación del suelo son antropogénicas, lo que resulta en la acumulación de contaminantes del suelo que pueden alcanzar niveles preocupantes (Cachada, RochaSantos y Duarte, 2018).

4.2.2 Tipos de contaminantes al suelo

La contaminación del suelo se produce por la incorporación de cualquier tipo de energía, organismo o sustancia, que afecta las características de los ecosistemas, modificando negativamente sus propiedades y su capacidad para asimilarlas o degradarlas. Su entrada se realiza como consecuencia de las actividades antropogénicas, aunque también se puede producir de forma natural. De manera general, los contaminantes se clasifican en:

4.2.2.1 Contaminantes orgánicos: incluyen hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's), PCB's, dioxinas, hidrocarburos de petróleo, disolventes clorados, compuestos aromáticos que se emplean en la producción de colorantes, explosivos, productos farmacéuticos, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), surfactantes, entre otros. En comparación con los compuestos inorgánicos, estos contaminantes son menos tóxicos para las plantas, ya que son menos reactivos y se acumulan en menor proporción (Cherian y Oliveira; 2005).

4.2.2.2 contaminantes inorgánicos: incluyen a los metales pesados como Co, Cr o Cu, elementos no metálicos como el As y B (Navarro-Aviñó et al., 2007), y radionúclidos como ^{60}Co y ^{137}Cs (Peles et al., 2002; Popa et al., 2004). Algunos elementos trazan son esenciales para la nutrición y crecimiento de plantas (B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn) y animales (As, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Zn, Cr, F, Ni, Se, Sn y V). La toxicidad de estos elementos depende de la concentración, la forma química y su persistencia. (Adriano et al., 2004; Navarro-Aviñó et al., 2007).

En general, los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes son de tres tipos: físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido-reducción o fotoquímicas) y biológicos (resultado del metabolismo microbiano, del metabolismo de plantas o de procesos de bioabsorción).

4.2.3 Fitorremediación

La fitorremediación, es una estrategia que se define como el uso de las plantas y sus raíces, asociadas con las bacterias para eliminar, transformar, o asimilar los productos contaminantes ubicados en el suelo, en sedimentos, agua subterránea, aguas superficiales, e incluso la atmósfera, al mismo tiempo, la fitorremediación tiene un enfoque de tratamiento de profundidad, que según las características del sitio contaminado, la siembra de plantas puede ser la única intervención a bajo precio y eficiente (Peng, S., et al, 2009).

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes (Kelley et al., 2000; Miretzky et al., 2004; Cherian y Oliveira, 2005; Eapen et al., 2007; Cho et al., 2008). Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para este fin. Algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras. Por definición, estas plantas deben acumular al menos 100 µg/g (0.01 % peso seco) de Cd y As; 1000 µg/g (0.1 % peso seco) de Co, Cu, Cr, Ni y Pb; y 10 000 µg/g (1.0 % peso seco) de Mn (Watanabe, 1997; Reeves et al., 1999; McGrath et al., 2001; Kamal et al., 2004; Yang et al., 2004; Reeves, 2006; Padmavathiamma y Li, 2007). Esta tecnología se hace más efectiva a través de la manipulación genética, lo que mejora la capacidad de remediación de las plantas (Cherian y Oliveira; 2005). Se han diseñado especies vegetales con una mayor capacidad de degradación de contaminantes orgánicos o de acumulación de metales pesados.

4.2.3.1 Tecnologías de la fitorremediación

Las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición.



Según Thangavel y Subharam (2004), dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del sitio y el nivel de limpieza requerido; las tecnologías de fitorremediación se pueden utilizar como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización). La fitoestabilización permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizosfera. Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire (Barton et al., 2005 Mendez y Maier, 2008,). La fitoestabilización es efectiva en suelos de textura fina con alto contenido de materia orgánica (Padmavathiamma y Li, 2007). Se aplica principalmente en terrenos extensos en donde existe contaminación superficial. Esta tecnología tiene como ventajas, sobre otros métodos de remediación de suelos, que es de menor costo, fácil de aplicar y estéticamente agradable.

Algunas plantas empleadas con fines de fitoestabilización son: *Hyparrhenia hirta* (Pb); *Zygophyllum fabago* (Zn); *Lupinus albus* (Cd, As); *Anthyllis vulneraria* (Zn, Pb, Cd); *Deschampsia cespitosa* (Pb, Cd, Zn); *Cardaminopsis arenosa* (Cd, Zn); *Horedeum vulgare*, *Lupinus angustifolius* y *Secale cereale* (As); *Lolium italicum* y *Festuca arundinaceae* (Pb, Zn); y *Brassica juncea* (Cd, Zn, Cu, Mn, Fe, Pb) (Bolan et al., 2003; Clemente et al., 2003; Rizzi et al., 2004; Kucharski et al., 2005 Clemente et al., 2006; Frérot et al., 2006; Mains et al., 2006; Vázquez et al., 2006; Conesa et al., 2007).

4.2.4 Biorremediación

La biorremediación utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas (Glazer y Nikaido, 1995). Su ámbito de aplicabilidad es muy amplio, pudiendo considerarse como objeto cada uno de los estados de la materia (Atlas y Unterman, 1999). La biorremediación es una rama de la biología basada en la utilización de microorganismos, plantas o enzimas derivadas de ellos

para retornar un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural (Umrana, 2006). El beneficio de su aplicación se pone de manifiesto en la contribución de los agentes biológicos al saneamiento de las aguas y a revertir la fertilidad de los suelos. Todo ello con un gran y beneficioso impacto medioambiental, social y económico (Jerez, 2009).

La biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, se ha convertido en un tema importante en la investigación ambiental, muchas de las estrategias de biorremediación se han desarrollado y mejorado para tratar los suelos contaminados, estas consisten en la aceleración de los procesos naturales de biodegradación (Xu, Y., y Lu, M., 2010), mediante bacterias u otros microorganismos que alteran y convierten moléculas orgánicas en otras sustancias, como CO₂, agua y metano. La biorremediación por lo general, consiste en la aplicación de fertilizantes nitrogenados y/o de fósforo, en ajustar el pH, mantener el contenido de agua necesaria, oxigenar y se acompaña a menudo con la adición de bacterias. Además, cuando los contaminantes tienen mala solubilidad del agua, la adición de emulsionantes y agentes de superficie activa (surfactantes) aumenta la velocidad de biodegradación mediante el aumento de la biodisponibilidad del contaminante (Calvo, C., et al, 2009).

La Biorremediación de suelos se puede dividir en estrategias in situ y ex situ, en la biorremediación in situ se refiere al tratamiento biológico de suelos contaminados sin excavar antes del tratamiento y ex situ a tratar el suelo contaminada en un lugar dispuesto para esto, las estrategias in situ presentan mayores ventajas sobre las ex situ, por su menor costo en traslado y la poca generación de residuos en el proceso (Xu, Y., and Lu, M., 2010).

4.2.4.1 Tipos de biorremediación

- **Degradación enzimática:** Este tipo de degradación consiste en el empleo de enzimas en el sitio contaminado con el fin de degradar las sustancias nocivas. Estas enzimas se obtienen en cantidades industriales por bacterias que las producen naturalmente, o por bacterias modificadas genéticamente que son comercializadas por las empresas biotecnológicas. Por ejemplo, existe un amplio número de industrias de



procesamiento de alimentos que producen residuos que necesariamente deben ser posteriormente tratados. En estos casos, se aplican grupos de enzimas que hidrolizan polímeros complejos para luego terminar de degradarlos con el uso de microorganismos. Un ejemplo lo constituyen las enzimas lipasas que se usan junto a cultivos bacterianos para eliminar los depósitos de grasa procedentes de las paredes de las tuberías que transportan los efluentes.

- **Remediación microbiana:** En este tipo de remediación se usan microorganismos directamente en el foco de la contaminación. Los microorganismos utilizados en biorremediación pueden ser los ya existentes (autóctonos) en el sitio contaminado o pueden provenir de otros ecosistemas, en cuyo caso deben ser agregados o inoculados. La descontaminación se produce debido a la capacidad natural que tienen ciertos organismos de transformar moléculas orgánicas en sustancias más pequeñas, que resultan menos tóxicas. El ser humano ha aprendido a aprovechar estos procesos metabólicos de los microorganismos, que pueden degradar compuestos tóxicos para el ambiente y convertirlos en compuestos inocuos o menos tóxicos, se aprovechan en el proceso de biorremediación.

4.2.5 *Guazuma Ulmifolia*

Es un árbol de porte bajo y muy ramificado que puede alcanzar hasta 20 m (metros) de altura, con un tronco de 30 a 60 cm (centímetros) de diámetro recubierto de corteza gris. Savia incolora, mucilaginosa. Las hojas son simples, alternas, con estípulas, con la base asimétrica subcordada con pecíolos cortos, aovadas u oblongas, aserradas, de 6 a 12 cm de largo y con el ápice agudo. Produce flores pequeñas agrupadas en inflorescencias axilares y cortamente estipitadas; tiene 5 pétalos de color blanco-amarillento. El fruto es un cápsula subglobosa o elipsoidea, negro-purpúrea al madurar y con la superficie muricada.

Evaluaciones realizadas en sistemas silvopastoriles naturales (cuadro 2), bajo utilización por animales bovinos en Pinto (Magdalena), a 1100 msnm, 28EC en zona de bs-T, en pasturas de *P. maximum*, asociado con una gran diversidad de árboles, entre los que

sobresalen Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), en diferentes densidades de árboles y área de cobertura de la sombra que proyecta la copa de los árboles, condicionando el área de sombra proyectada sobre la pastura, muestran aportes importantes de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

Tabla 1

Aportes de elementos nutritivos de árboles de Guácimo (*G. ulmifolia*) al suelo

Densidad de árboles	(Kg/Ha)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Alta	35.51 ^a	2.18 ^a	2.91 ^b
	(69.21) a*	(3.27) a	(33.54) a
Medio	33.08 ^a	2.04 ^a	4.84 a
	(62.77) a	(3.19) a	(32.53) a
Baja	10.30 ^b	0.99 ^a	2.03 ^b
	(26.89) b	(1.66) a	(14.09) a

Fuente: Adaptado de Botero et al., 1995.

Datos del CATIE (1986), indican que el guácimo, es una especie que rebrota muy bien después de podarla y que produce buena cantidad de biomasa comestible para los animales.

4.2.5.1 Usos del *Guazuma Ulmifolia*

El Guácimo de la familia Sterculiaceae. Árbol multipropósito que produce leña de alta calidad, carbón, madera y forraje, sombra en los potreros, forma cercas vivas, linderos, a lo largo de carreteras, y pendientes para estabilizar los suelos. Se siembra en plantaciones para leña o forraje, barbechos mejorados, sombra de café, huerto familiar, árbol asociado a sistemas agroforestales, como barrera rompevientos y contra incendios.

Es una especie secundaria y pionera, que coloniza rápidamente áreas abiertas. Es típica de pastizales, orillas de carreteras y barbechos debido a que regenera fácilmente en

áreas abiertas. Se puede sembrar junto con los pastos pangola, estrella de África, guinea, Tanzania, jaragua, y muchos otros pastos tropicales que toleren medianamente la sombra. Esta especie tiene gran capacidad forrajera para engorda de ganado bovino, porcino, venados, burros, zarigüeyas, caballos y aún gallinas, y se han usado las hojas como alimento del gusano de seda. Tiene buena capacidad de rebrote y este atributo la convierte en una especie ideal para ser manejada en los potreros de las zonas secas. Es un árbol importante en sistemas silvopastoriles ya que el forraje y los frutos son altamente nutritivos y apetecidos por el ganado.

Figura 1

Guazuma Ulmifolia



Fuente: Atlas de biología, 2005

4.2.6 *Cardaminopsis arenosa*

Plantas herbáceas, anuales, con pelos simples y ramificados. Hojas con margen entero o dividido; pecioladas, las inferiores largamente, las superiores cortamente. Flores en racimos ebracteados. Pedicelos más estrechos que las silículas en la fructificación. Sépalos erectos o erecto-patentes, los laterales gibososen la base. Pétalos con uña claramente diferenciada,

rosados o blancos. Estambres con filamentos planos y lineares; anteras elipsoideas. Nectarios 4, los 2 laterales anulares, los medianos piriformes y obcordados.

Figura 2

Cardaminopsis arenosa



Fuente: Atlas de biología, 2005

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Adsorción: Proceso en el cual los iones y moléculas presentes en una fase tienden a condensarse y concentrarse en la superficie de otra fase. (TULSMA Libro IV)

Bioaireación: Consiste en proporcionar oxígeno al subsuelo estimulando la degradación por medio de microorganismos nativos, se ha convertido en una de las

estrategias in situ más costo-efectivas disponibles para hacer frente a derrames de hidrocarburos de petróleo, ya que el aire se suministra mediante un sistema de inyección (García, J., et al, 2010).

Bioaugmentación: consiste en la adición de cepas microbianas externas (diferentes a las nativas), al suelo contaminado, estos microorganismos están adaptados o incluso modificados genéticamente y cuentan con la capacidad de degradar el contaminante (Ta-Chen, L., et al, 2010).

Bioestimulación: se define como la estimulación de los microorganismos nativos, para activar y acelerar la degradación de contaminantes, se puede llevar a cabo con la adición de agua, oxígeno, nutrientes, aceptor de electrones, entre otros parámetros que permitan el buen desarrollo de los microorganismos, dentro de los nutrientes se encuentran principalmente el nitrógeno y fósforo, el nitrógeno proporciona el elemento necesario para la producción de aminoácidos y enzimas, y la fuente de fósforo interviene en la formación de compuestos energéticos dentro de la célula que se utilizan en los procesos de reproducción y degradación (Taccaria, M., et al, 2012).

Biolabranza: Al suelo contaminado se le mezcla con agentes de volumen y se la realiza una labranza periódica para favorecer la aireación. Dentro de las ventajas se puede decir que es un proceso considerado de bajo nivel tecnológico que no requiere exigentes consideraciones de ingeniería, y a la vez permite una fácil manipulación y control de las variables de diseño y operación. (Duran, M., y Contreras, N., 2006).

Compostaje: Es un proceso biológico controlado, esta estrategia de compostaje se diferencian de los sistemas convencionales de compostaje, ya que son sistemas cerrados, como las incubadoras de gran tamaño, ofreciendo la oportunidad de asegurar el uso de altas temperaturas ($> 70^{\circ} \text{C}$) con el fin de cumplir con requisitos regulatorios para el control de patógenos, esta estrategia debe ser más controlada por los operadores y permite seleccionar los parámetros adecuados de operación por ejemplo, temperatura, contenido de humedad (CH), las proporciones de mezcla (agentes de volumen, paja, aserrín, estiércol, desechos

agrícolas) para promover tanto la actividad microbiana y la degradación del contaminantes (Duran, M., y Contreras, N., 2006).

Contaminante: Sustancia o agente presente en el suelo como resultado de la actividad humana (ISO, 2013).

Degradación: La degradación del suelo se define como un cambio en la salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios (FAO, 2013).

Erosion: La erosión del suelo es definida como un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos (Ellison, 1947). Los agentes erosivos dinámicos, en el caso de la erosión hídrica son la lluvia y el escurrimiento superficial o las inundaciones

Ex situ: Como el mantenimiento de los componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales (Ministerio para la Transición Ecológica, 2015).

Filtración: La disolución y movimiento de sustancias disueltas por el agua (ISO, 2013).

Funciones de los ecosistemas del suelo: descripción de la importancia de los suelos para los humanos y el medio ambiente. Algunos ejemplos son: (1) el control de ciclos de sustancias y energía dentro de los ecosistemas; (2) la base para la vida de plantas, animales y el hombre; (3) la base para la estabilidad de construcciones y caminos; (4) la base para la agricultura y la silvicultura; (5) transportador del reservorio genético; (6) documento de la historia natural y (7) documento arqueológico y paleo-ecológico (ISO, 2013).

Humedad: Es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en un gas, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes (Martínez, E. 2013).

In situ: Suele utilizarse para designar un fenómeno observado en el lugar, o una manipulación realizada en el lugar (Ministerio para la Transición Ecológica, 2015).

Salud del Suelo: la capacidad constante del suelo para funcionar como un sistema viviente determinante dentro de los sistemas y las fronteras de uso del suelo para sustentar la

productividad biológica, promover la calidad de los medios de aire y agua y mantener la salud de plantas, animales y humanos (Doran, Stamatiadis and Haberern, 2002).

Seguridad alimentaria: se define como disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad del suministro de alimentos (La Cumbre Mundial sobre la Alimentación, 1996).

Servicios del ecosistema del suelo: la capacidad de los procesos y componentes naturales para proveer de bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas, directa o indirectamente (Groot, 1992).

Suelo: La capa superior de la corteza terrestre transformada por la erosión y por procesos físico-químicos y biológicos. Está compuesto de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire organismos vivientes organizados en horizontes genéticos de suelo (ISO, 2013).

4.4 MARCO CONTEXTUAL

El estudio se llevara a cabo en el corregimiento de Guaymaral del municipio de Valledupar, el cual Limita hacia el norte con el corregimiento de El Perro; hacia el nororiente con el municipio de San Diego. Al oriente limita con el municipio de La Paz y al sur con el municipio de El Paso. Al occidente limita con el municipio de Bosconia.

Guaymaral (Lugar poblado)

Departamento: Cesar **Municipio:** Valledupar

Latitud: 9.90322

Longitud: -73.6447

Figura 3

Guaymaral-Cesar



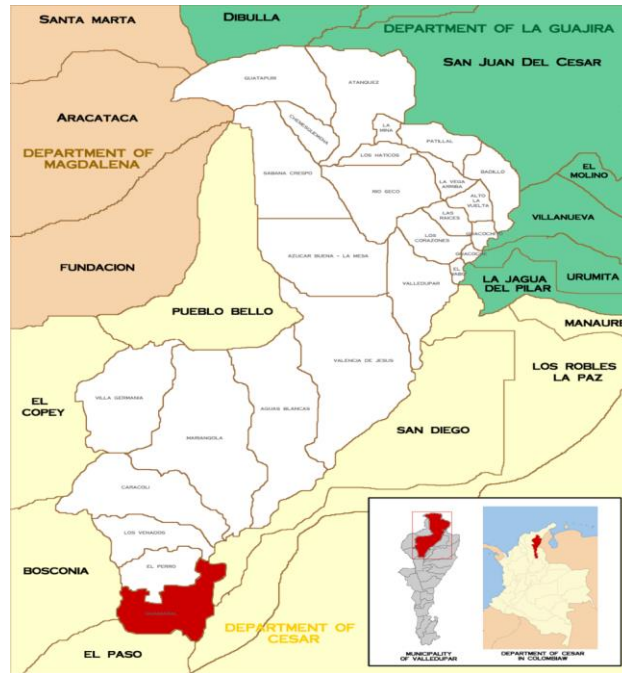


**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



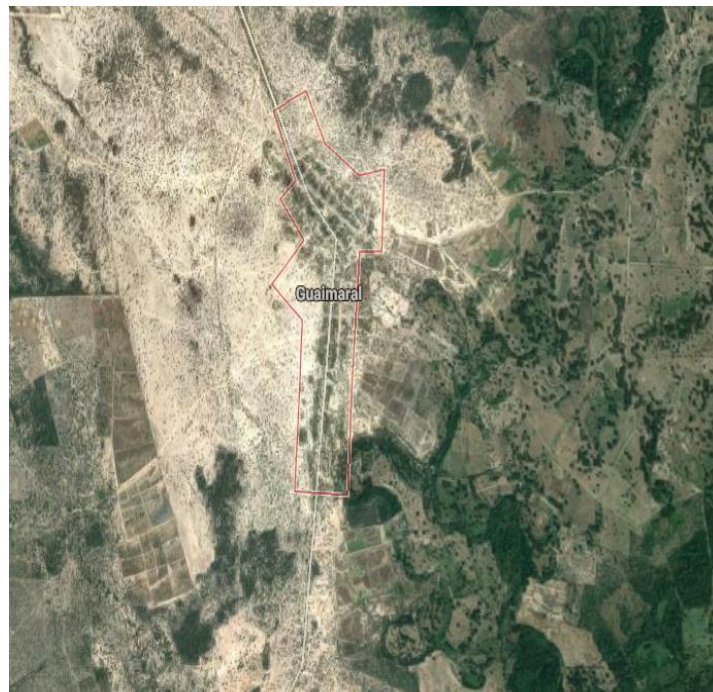
**Ingeniería
Ambiental y Sanitaria**



Fuente: (Google Maps,2018)

Figura 4

Guaimaral- Cesar



Fuente: Google maps, 2018

El corregimiento también hace parte de la cuenca del río Cesar. El territorio es atravesado por los ríos Garupal y Cesar. El nombre de Guaymaral proviene de un sembradío del fruto llamado coloquialmente Guáimaro (*Brosimum alicastrum*) que es nativo de la región. Cuenta con flora y fauna bastante diversa.

Flora: Entre estos tenemos: Guacimo, Guaimaro, Totumo, Eucalipto, Trupillo, Roble, Algarroblillo, Mamón, Cerezo, Ceiba, Cedro, Cactus, Tunarepas, etc...

Fauna: Se encuentra gran variedad de animales como: Ovejoes, Cerdos, Gallinas, Pavos, Patos, Loros, Morrocoy, Iguanas, Icoteas, Chivos, Galán, Caballos, Burros, Vacas, Perros, Gatos, Peces, Cotorras, Guacamayas, etc.

4.5 MARCO LEGAL.

A continuación se menciona la normatividad vigente para Colombia en materia del recurso suelo.

Tabla 2

Normatividad del recurso suelo

**CONSTITUCIÓN
POLÍTICA DE
COLOMBIA**

ARTICULO 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.



ARTICULO 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

ARTÍCULO 332. El Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables, sin perjuicio de los derechos adquiridos y perfeccionados con arreglo a las leyes preexistentes.

ARTÍCULO 334. La intervención del Estado por mandato de la ley en la explotación de los recursos naturales, en el uso del suelo, en la producción, distribución utilización y consumo de los bienes, y en los servicios públicos y privados, para racionalizar la economía con el fin de conseguir el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación de un ambiente sano.

Ley 99 De 1993

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.



Ley 1252 de 2008.	“Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.”
Ley 388 De 1997, Artículo 33	Ordenamiento territorial, que reglamenta los usos del suelo
Ley 507 De 1999	Modificación Ley 388 de 1997 sobre formulación y adopción de los planes y esquemas de ordenamiento territorial (POT).
Decreto 843 De 1979	Se dictan disposiciones para el control de la industria y comercio de los bonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo, alimentos para animales, plaguicidas de uso agrícola, defoliantes, reguladores fisiológicos de las plantas, drogas y productos biológicos de uso veterinario.
Decreto 2811 De 1974 Parte Vii	Del suelo agrícola y de los usos no agrícolas de la tierra.
Decreto 2655 De 1988	Código de Minas
Decreto Reglamentario 2462 De 1989	Sobre explotación de materiales de construcción.
Decreto 4741 de 2005	“Por medio del cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.”



Resolución 6 de 2015.	“Por la cual se ordena la suspensión del uso del herbicida glifosato en las operaciones de erradicación de cultivos ilícitos mediante aspersión aérea”.
Resolución 170 De 2009	Por la cual se declara en Colombia el año 2009 como año de los suelos y el 17 de junio como Día Nacional de los Suelos y se adoptan medidas para la conservación y protección de los suelos en el territorio nacional.
Resolución 1158 De 1985 Del Ica	Prohíbe la importación, producción y venta de los plaguicidas de uso agrícola que contengan el ingrediente activo Dibromuro de Etileno (EBD).
Resolución 243 De 1982 Del Ica	Prohíbe la producción, importación, y venta de los plaguicidas a base de Dibromocloropropano (DBCP), utilizados en el control de plagas del suelo
Resolución 209 De 1978 Del Ministerio De Agricultura.	Prohíbe el uso de Plaguicidas Organoclorados en el cultivo del cafeto. Artículo Primero: Prohíbese la venta y el uso de productos organoclorados con destino al cultivo del cafeto en el territorio nacional. Para efectos de la presente Resolución, se entiende por productos organoclorados los siguientes, sean formulados solos o en mezcla con otros plaguicidas: DDT, BHC, Lindano, Derivados Ciclodiónicos, Canfenos clorados, Cetonas Policíclicas, Policlorados y los Fenoxiderivados
Resolución 447 De 1974 Del Ministerio De Agricultura.	Prohíbe el uso y venta de Insecticidas Clorados con destino al cultivo del tabaco: Aldrin, BHC, Clordano, DDD, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptacoloro, Heptacoloro Epoxido, isobenzan, Melipax y Toxapheno.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**Resolución 1042 De 1977
Del Ica**

Cancela los registros de venta de plaguicidas a base de
Leptophos (PHOSVEL).

Fuente: Constitución Política de Colombia, 1991.



5. MARCO METODOLÓGICO.

5.1. LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La investigación tiene como línea correspondiente **SOSTENIBILIDAD Y GESTIÓN AMBIENTAL** y como sublínea **GESTIÓN INTEGRAL AMBIENTAL DEL SUELO**.

5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo descriptivo. La investigación descriptiva se encarga de puntualizar las características de la población que está estudiando. Esta metodología se centra más en el “qué”, en lugar del “por qué” del sujeto de investigación. En otras palabras, su objetivo es describir la naturaleza de un segmento demográfico, sin centrarse en las razones por las que se produce un determinado fenómeno. Es decir, “describe” el tema de investigación, sin cubrir “por qué” ocurre (Arias F., 2012).

5.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación corresponde a correlacional. La investigación correlacional consiste en evaluar dos variables, siendo su fin estudiar el grado de correlación entre ellas. La investigación correlacional, por tanto, trata de descubrir cómo varía una variable al hacerlo la otra (Arias F., 2012).

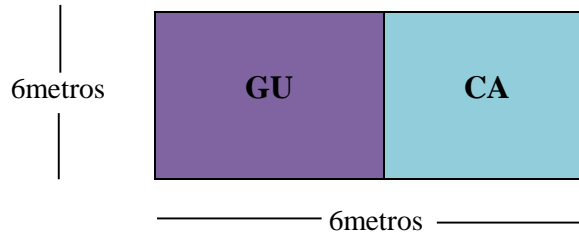
5.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población estudio de la investigación correspondió al predio de 1 hectárea ubicado en el corregimiento de Guaymaral, Cesar, la cual está destinada a las actividades económicas anteriormente planteadas.

5.5 MUESTRA POBLACIONAL

La muestra poblacional fue probabilística con tipo aleatorio simple.

La muestra se localizó en el corregimiento y correspondió a un predio dividido en 2 parcelas de 3x3 cada una, el cual, se estableció en cada parcela la siembra para cada especie. Representado en la siguiente figura:



GU: Siembra con Guazuma ulmifolia en parcela 3x3

CA: Siembra con Cardaminopsis arenosa en parcela 3x3

5.6 DESARROLLO METODOLÓGICO

En el siguiente punto, se describen las actividades que nos permitieron alcanzar cada objetivo planteado:

5.6.1 FASE 1 Caracterización física, química y microbiológicamente los suelos esteriles del corregimiento de Guaymaral, Cesar.

ACTIVIDAD 1.1 Recoger muestras de suelo de las parcelas seleccionadas para su posterior caracterización.

DESCRIPCIÓN: Se sacó una muestra grande de suelo de las parcelas, se metió la muestra de suelo en una bolsa o en una lata. Se escribió en cada bolsa el nombre del sitio, del horizonte y la altura a la que se tomó la muestra. Se procedió a llevar al laboratorio de ingeniería ambiental y sanitaria de la Universidad Popular del Cesar.

ACTIVIDAD 1.2 Realizar la caracterización física al suelo

DESCRIPCIÓN: Los análisis físicos se realizaron in-situ, por esta razón el pretratamiento de las muestras no fue necesario y los análisis se basaron en percepciones organolépticas con asignación de valores cuantitativos como lo establece la metodología de Altieri & Nicholls (2002) para la evaluación de la calidad en los suelos.

Tabla 3



Asignación cuantitativa de valores correspondientes a las variables físicas según Altieri & Nicholls (2002)

Variable	Descripción	Valor
Compactación e infiltración	Compacto, se anega	1
	Presencia de capa compacta delgada, el agua se infiltra lentamente	5
	Suelo no compacto, el agua se infiltra fácilmente	10
Actividad Biológica	Nula	1
	Moderada	5
	Abundante	10
Color, olor y materia orgánica	Suelo pálido, con mal olor o químico, y no se observa la presencia de materia orgánica o humus	1
	Suelo pardo claro o rojizo, con poco olor y con algún grado de materia orgánica o humus	5
	Suelo de negro o pardo oscuro, con olor a tierra fresca, se nota presencia abundante de materia orgánica y humus	10

Fuente: Altieri & Nicholls (2002)

Las variables de compactación e infiltración se realizaron siguiendo la siguiente metodología Porchet:

- Realizar una excavación de 30x30 x 60 de profundidad
- Ubicar la regla metálica en un extremo de la excavación.

- Verter agua destilada en la excavación hasta saturar el área.
- Una vez saturada el área se llena con agua hasta el tope. Finalmente medir el nivel del agua en un determinado tiempo.

ACTIVIDAD 1.3 Realizar la caracterización química a las muestras tomadas.

DESCRIPCIÓN: Las muestras tomadas en campo fueron sometidas a un pretratamiento establecido por la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 11464 (ICONTEC, 2002) que consistió en un secado, tamizado y posterior pesado para los diferentes análisis a realizar.

Para el caso del primer análisis químico: Determinación de carbono orgánico Total (COT) y materia orgánica (MO) por el método Bray II, se siguieron los pasos (Galvis, 2006):

- Pesar 1,425 g de muestra pretratada con apariencia orgánica.
- Agregar la muestra en un vaso de precipitado de 50 ml.
- Agregar con dispensador 1 ml de la solución de molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ y H_2SO_4 5M. posteriormente agitar con ayuda de los agitadores magnéticos durante 40 segundos.
- Filtrar inmediatamente a través del papel filtro con ayuda de la bomba de vacío.
- Tomar 1 ml del extracto.
- Agregar 9 ml de la solución reductora (ácido ascórbico $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) hasta que la muestra se tornó de color azul.
- Dejar en reposo durante 15 minutos.

El fósforo en ppm se calcula siguiendo la ecuación:

$$\text{ppm fósforo (P)} = (A+2,2655) / 0,4215$$

Donde:

A: absorbancia de la muestra P^*FD (ppm real) = $(P^* 2, 59909032)$

Donde: P= fósforo ppm

El porcentaje de fósforo se calcula siguiendo la ecuación:

$\% P = (\text{ppm real} * 0, 0001)$

Para la determinación de Nitrógeno Total (N) por el método kjeldahl se sigue el procedimiento (Kjeldahl, 1883):

- Pesar 0,25g de muestra pretratada con apariencia orgánica.
- Agregar la muestra en un tubo de digestión kjeldahl.
- Agregar con dispensador 5 ml de H₂SO₄ concentrado (98%).
- Agregar 1 pastilla de mezcla de catalizadores (sulfato de cobre CuSO₄) y sulfato de sodio (Na₂SO₄).
- Colocar el tubo en el digestor previamente caliente y se elevar su temperatura gradualmente hasta alcanzar los 415°C (es necesario evitar el escape de los vapores con la campana del digestor).
- Una vez alcanzada la temperatura deseada esperar 1 hora y luego dejar enfriar.
- Colocar el tubo en la unidad de destilación con 10 ml de la solución receptora y 5 gotas del indicador Tashiro.
- Finalmente titular la muestra con ácido sulfúrico hasta que la muestra vire de un color verde marino a un tono azul rey

Cálculos: El porcentaje de nitrógeno se calcula siguiendo la ecuación

$$\% N = (\text{ceq} * (V - \text{VBL}) * M * 100 \%) / E$$

Donde:

Ceq: Concentración equivalente de la disolución valorante [mol/L]

V: Consumo disolución valorante muestra [L]

VBL: Consumo disolución valorante con valor del blanco [L]

M: Peso molecular nitrógeno [g/mol]

E: Peso de la muestra [g]

Por último, para la determinación del potencial de Hidrógeno (pH) por el método Potenciómetro NTC-ISO 5264 se sigue el procedimiento:

- Pesar 1 g de muestra pretratada con apariencia orgánica.
- Agregar la muestra en un vaso de precipitado de 50 ml.
- Agregar con dispensador 1 ml de agua desionizada y se agitó con ayuda de los mezcladores magnéticos durante 15 minutos.
- Introducir el electrodo en la muestra y leer el resultado.

ACTIVIDAD 1.4 Realizar la caracterización microbiológica al suelo muestreado

DESCRIPCIÓN: Para la determinación de la respiración microbiana (res): se usó la metodología descrita por Anderson (1982) con el siguiente procedimiento:

Antes de iniciar con el procedimiento garantizar la esterilidad de todos los materiales utilizados.

- Colocar 15 g de suelo sin pretratamiento en un frasco ámbar.

- Colocar dentro de un tubo de ensayo 5 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 1N y se introdujo una tira de papel filtro dentro del tubo

Situar el tubo de ensayo con NaOH dentro del frasco ámbar con suelo y tapar asegurándose que no existen fugas.

- Incubar durante 15 días.
- Al pasar este periodo destapar el frasco y sacar el tubo de ensayo.
- Agregar 3 ml de cloruro de bario (BaCl_2) 2% dentro del tubo y esperar la formación de un precipitado de color blanco.
- Retirar el sobrenadante de NaOH y agregar 2 gotas de fenolftaleína
- Finalmente, titular con ácido clorhídrico HCl 0,1 N

Cálculos: La cantidad de gas producido por respiración se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$R = (B-M) NE (1)$$

Donde: R = respiración microbiana en mg CO_2

B = volumen de ácido necesario para titular el NaOH del promedio de los blancos (en ml)

M = cantidad de ácido necesaria para titular el NaOH de la muestra (en ml)

N = normalidad del ácido

E = peso equivalente del CO_2

5.6.2 FASE 2: Establecimiento del diseño de parcelamiento y densidad de siembra ideales para la instalación de las especies.



DESCRIPCIÓN: La densidad de siembra se calculó bajo el supuesto de un rendimiento de 2,4 toneladas por grano de cada especie (FAO, 2000). Si la densidad estimada fue de 50.000 plantas por ha, la semilla tiene un 95 % de germinación. Con todo esto, se supone una pérdida de semillas y plántulas del 25 % más un 5 % de margen de seguridad, la pérdida se calculó en un 30 %.

Entonces la densidad de plantas deseada (50mil/Ha) se dividió entre 0,7 para obtener la densidad de siembra. Lo que resulta de 71.428.57 semillas por Ha. Como nuestro proyecto se basa en metros, en terrenos de 1m de ancho, la densidad de siembra corresponde a 7 semillas sembradas por metro lineal.

Para las parcelas de 1x1 la densidad de siembra será de 49 semillas.

Tabla 4

Densidad de siembra por m² por especie

Especie	Densidad de siembra por m²
<i>Guazuma ulmifolia</i>	49 semillas
<i>Cardaminopsis arenosa</i>	49 semillas

Fuente: Autores, 2021

5.6.3 FASE 3: Determinación del porcentaje de recuperación del suelo sometido a biorremediación por la especie *Guazuma ulmifolia* y la especie de monitoreo *Cardaminopsis arenosa*.

ACTIVIDAD 3.1: Caracterizar física, química y microbiológica a muestras de suelo con la finalidad de comparar la eficiencia en la recuperación del suelo estéril del corregimiento por medio de la especie de monitoreo *Cardaminopsis arenosa*.

DESCRIPCIÓN: se realizaron análisis de caracterización físico, químico y microbiológico al suelo recuperado con *Guazuma ulmifolia* y al suelo que está con la especie control o de monitoreo que corresponde a *Cardaminopsis arenosa*, con la finalidad de

comparar los resultados y valorar la eficiencia de recuperación. El procedimiento realizado para las caracterizaciones fueron el mismo efectuado en la fase uno.

Los análisis físicos se realizaron in-situ, por esta razón el pretratamiento de las muestras no fue necesario y los análisis se basaron en percepciones organolépticas con asignación de valores cuantitativos como lo establece la metodología de Altieri & Nicholls (2002) para la evaluación de la calidad en los suelos.

Tabla 5

Asignación cuantitativa de valores correspondientes a las variables físicas según Altieri & Nicholls (2002)

Variable	Descripción	Valor
Compactación e infiltración	Compacto, se anega	1
	Presencia de capa compacta delgada, el agua se infiltra lentamente	5
	Suelo no compacto, el agua se infiltra fácilmente	10
Actividad Biológica	Nula	1
	Moderada	5
	Abundante	10
Color, olor y materia orgánica	Suelo pálido, con mal olor o químico, y no se observa la presencia de materia orgánica o humus	1
	Suelo pardo claro o rojizo, con poco olor y con algún grado de materia orgánica o humus	5

Suelo de negro o pardo oscuro, con olor a tierra 10
fresca, se nota presencia abundante de materia
orgánica y humus

Fuente: Altieri & Nicholls (2002)

Las variables de compactación e infiltración se realizaron siguiendo la siguiente metodología Porchet:

- Realizar una excavación de 30x30 x 60 de profundidad
- Ubicar la regla metálica en un extremo de la excavación.
- Verter agua destilada en la excavación hasta saturar el área.
- Una vez saturada el área se llenar con agua hasta el tope. Finalmente medir el nivel del agua en un determinado tiempo.

Para el análisis químico, las muestras tomadas en campo fueron sometidas a un pretratamiento establecido por la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 11464 (ICONTEC, 2002) que consistió en un secado, tamizado y posterior pesado para los diferentes análisis a realizar.

Para el caso del primer análisis químico: Determinación de carbono orgánico Total (COT) y materia orgánica (MO) por el método Bray II, se siguieron los pasos (Galvis, 2006):

- Pesar 1,425 g de muestra pretratada con apariencia orgánica.
- Agregar la muestra en un vaso de precipitado de 50 ml.
- Agregar con dispensador 1 ml de la solución de molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ y H_2SO_4 5M. posteriormente agitar con ayuda de los agitadores magnéticos durante 40 segundos.

- Filtrar inmediatamente a través del papel filtro con ayuda de la bomba de vacío.
- Tomar 1 ml del extracto.
- Agregar 9 ml de la solución reductora (ácido ascórbico C₆H₈O₆) hasta que la muestra se tornó de color azul.
- Dejar en reposo durante 15 minutos.

El fósforo en ppm se calcula siguiendo la ecuación:

$$\text{ppm fósforo (P)} = (A + 2,2655) / 0,4215$$

Donde:

A: absorbancia de la muestra $P \cdot FD$ (ppm real) = $(P \cdot 2, 59909032)$

Donde: P= fósforo ppm

El porcentaje de fósforo se calcula siguiendo la ecuación:

$$\% P = (\text{ppm real} \cdot 0, 0001)$$

Para la determinación de Nitrógeno Total (N) por el método kjeldahl se sigue el procedimiento (Kjeldahl, 1883):

- Pesar 0,25g de muestra pretratada con apariencia orgánica.
- Agregar la muestra en un tubo de digestión kjeldahl.
- Agregar con dispensador 5 ml de H₂SO₄ concentrado (98%).
- Agregar 1 pastilla de mezcla de catalizadores (sulfato de cobre CuSO₄) y sulfato de sodio (Na₂SO₄).

- Colocar el tubo en el digestor previamente caliente y se eleva su temperatura gradualmente hasta alcanzar los 415°C (es necesario evitar el escape de los vapores con la campana del digestor).
- Una vez alcanzada la temperatura deseada esperar 1 hora y luego dejar enfriar.
- Colocar el tubo en la unidad de destilación con 10 ml de la solución receptora y 5 gotas del indicador Tashiro.
- Finalmente titular la muestra con ácido sulfúrico hasta que la muestra vire de un color verde marino a un tono azul rey

Cálculos: El porcentaje de nitrógeno se calcula siguiendo la ecuación

$$\% N = (\text{ceq} * (V - \text{VBL}) * M * 100 \%) / E$$

Donde:

Ceq: Concentración equivalente de la disolución valorante [mol/L]

V: Consumo disolución valorante muestra [L]

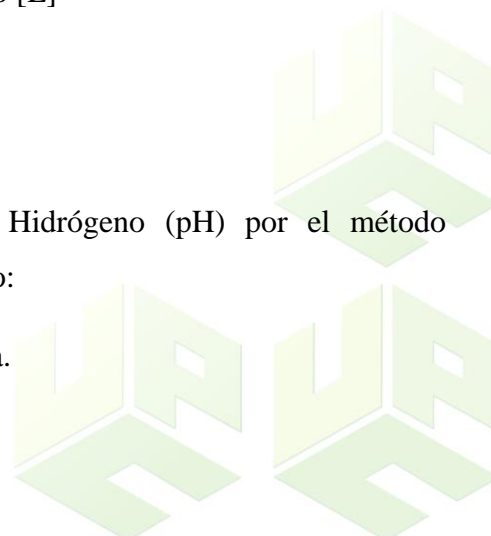
VBL: Consumo disolución valorante con valor del blanco [L]

M: Peso molecular nitrógeno [g/mol]

E: Peso de la muestra [g]

Por último, para la determinación del potencial de Hidrógeno (pH) por el método Potenciómetro NTC-ISO 5264 se sigue el procedimiento:

- Pesar 1 g de muestra pretratada con apariencia orgánica.
- Agregar la muestra en un vaso de precipitado de 50 ml.





- Agregar con dispensador 1 ml de agua desionizada y se agitó con ayuda de los mezcladores magnéticos durante 15 minutos.

- Introducir el electrodo en la muestra y leer el resultado

Para la determinación de la respiración microbiana (res): usaremos la metodología descrita por Anderson (1982) con el siguiente procedimiento:

Antes de iniciar con el procedimiento garantizar la esterilidad de todos los materiales utilizados.

- Colocar 15 g de suelo sin pretratamiento en un frasco ámbar.

- Colocar dentro de un tubo de ensayo 5 ml de hidróxido de sodio (NaOH) 1N y se introdujo una tira de papel filtro dentro del tubo

Situar el tubo de ensayo con NaOH dentro del frasco ámbar con suelo y tapar asegurándose que no existen fugas.

- Incubar durante 15 días.

- Al pasar este periodo destapar el frasco y sacar el tubo de ensayo.

- Agregar 3 ml de cloruro de bario (BaCl₂) 2% dentro del tubo y esperar la formación de un precipitado de color blanco.

- Retirar el sobrenadante de NaOH y agregar 2 gotas de fenolftaleína

- Finalmente, titular con ácido clorhídrico HCl 0,1 N

Cálculos: La cantidad de gas producido por respiración se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$R = (B-M) NE (1)$$

Donde: R = respiración microbiana en mg CO₂

B = volumen de ácido necesario para titular el NaOH del promedio de los blancos (en ml)

M = cantidad de ácido necesaria para titular el NaOH de la muestra (en ml)

N = normalidad del ácido

E = peso equivalente del CO₂

ACTIVIDAD 3.2 Analizar los datos de las caracterizaciones de suelos antes y después de ser sometidos a biorremediación

DESCRIPCION: una vez obtenido los datos de las caracterizaciones de los suelos estériles y después de haberse sometido a biorremediación con las especies seleccionadas, se realizaron tablas donde se registró el valor de cada parámetro físico, químico y microbiológico de las muestras antes y después, lo que permitió la fácil interpretación de estos.

ACTIVIDAD 3.3 Determinación del porcentaje de recuperación de los suelos por medio de las especies seleccionadas.

DESCRIPCION: una vez elaboradas las tablas se analizaron las variaciones de los parámetros de las muestras de suelos antes y después de someterse a biorremediación, lo que nos llevó a identificar el porcentaje de recuperación del suelo por medio de la variación de cada parámetro.

5.6.4 FASE 4: Diseño de estrategias para fomentar el desarrollo incipiente de técnicas de recuperación de suelos en el corregimiento de Guaymaral, Cesar.

ACTIVIDAD 4.1: Realización de actividades de capacitación y concientización a los habitantes del corregimiento de Guaymaral



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



DESCRIPCIÓN: Se capacitaron a los habitantes del corregimiento una vez al mes durante el tiempo de realización del proyecto y de recuperación, sobre el cuidado que se debe brindar al recurso suelo, y sobre el uso correcto de las actividades como la agricultura y ganadería, con la finalidad de reducir los impactos negativos en el suelo.



6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Caracterización física, química y microbiológicamente los suelos esteriles del corregimiento de Guaymaral, Cesar.

6.1.1 Recolección de muestras de suelo de las parcelas seleccionadas para su posterior caracterización.

6.1.1.1 Parcelamiento de las hectáreas

Con la finalidad de realizar la caracterización física, química y microbiológicamente los suelos esteriles del corregimiento de Guaymaral, Cesar, se realizó el parcelamiento de las hectáreas objeto de estudio. El terreno fue dividido en cuatro parcelas, cada una presentó una superficie total de 3x3, siendo de 0,2m de ancho en el sentido de las curvas de nivel y 2,4 m de largo en la dirección de la pendiente.

El parcelamiento fue identificado según el sembrado correspondiente. La tabla permite observar a detalle las características de cada siembra.

Tabla 6

Características del parcelamiento

Parcelamiento	Dimensiones	Siembra realizada
Parcela 1	3x3 metros	Siembra con <i>Guazuma ulmifolia</i>
Parcela 2	3x3 metros	Siembra con <i>Guazuma ulmifolia</i>
Parcela 3	3x3 metros	Siembra con <i>Cardaminopsis arenosa</i>
Parcela 4	3x3 metros	Siembra con <i>Cardaminopsis arenosa</i>

Fuente: Autores, 2022

Como se observa, se realizaron dos parcelamientos con siembra de *Guazuma ulmifolia*, y dos parcelas con siembras de *Cardaminopsis arenosa*. La figura a continuación presenta el parcelamiento realizado en las hectáreas objeto de estudio.

Figura 6

Parcelamiento



Fuente: Autores, 2022

6.1.1.2 Toma de muestras

El muestreo constituye la etapa inicial y fundamental para la adecuada interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio. Pero debido a que el suelo es un material muy heterogéneo, con diferentes condiciones de origen, topografía, manejo, tipos de vegetación, etc.; es necesario definir unidades con características más o menos similares, que permitan establecer lo que se conoce como unidades de muestreo (Instituto Geográfica Agustín Codazzi, 2015).

La toma de muestras efectuada para cada parcelamiento se realizó siguiendo la guía para la toma de muestras de suelo del Instituto Geográfica Agustín Codazzi (2015), el cual se describe a continuación:

Para la toma de muestras se utilizó una pala, se abrió un hoyo de aproximadamente 25 x 25 cm de lado y 20 cm de profundidad, así mismo, por recomendación de los autores en referencia, se retiraron los 2 cm primeros del suelo y posteriormente se extrajo la muestra. En general la profundidad de muestreo estuvo entre 2 y 20 cm que es el área de acción de las raíces.

Figura 7

Toma de muestras con pala



Fuente: Autores, 2022

Seguido, se mezcló en un balde las submuestras hasta obtener una muestra compuesta homogénea. Por último, se tomó una muestra de aproximadamente 1kg en bolsas plásticas debidamente rotuladas, precisadas con el número de parcela, predio o lote, así como la caracterización que se iba a realizar en la muestra tomada.



Una vez definida la metodología para el muestreo, se definieron las muestras tomadas para cada caracterización. La tabla a continuación detalla el muestreo en cada parcela.

Parcelamiento	Caracterización a realizar	Descripción	Cantidad de muestra (kg)
Parcela 1,2,3,4	Análisis fisicoquímico y microbiológico	Se tomó una sola muestra para la determinación fisicoquímica y microbiológica del suelo. Para esto, se estableció un punto de muestreo en cada parcela y se procedió a homogenizar en un solo balde las muestras, para de esta manera obtener una sola por el total de las parcelas.	2
Parcela 1	Análisis fisicoquímico y microbiológico	Se tomó una muestra siguiendo la metodología del IGAC, 2015, para posterior ser entregadas al laboratorio.	2
Parcela 2	Análisis fisicoquímico y microbiológico	Se tomó una muestra siguiendo la metodología del IGAC, 2015, para posterior ser entregadas al laboratorio.	2
Parcela 3	Análisis fisicoquímico y microbiológico	Se tomó una muestra siguiendo la metodología del IGAC, 2015, para posterior ser entregadas al laboratorio.	2

Parcela 4	Análisis fisicoquímico y microbiológico	Se tomó una muestra siguiendo la metodología del IGAC, 2015, para posterior ser entregadas al laboratorio.	2
------------------	---	--	---

Fuente: Autores, 2022

Las imágenes presentan la toma de muestras realizadas por cada parcelamiento.

Figura 8

Toma de muestras



Fuente: Autores, 2022

6.1.2 Caracterización fisicoquímica del suelo

Las muestra de suelo recolectada con la finalidad de realizar la caracterización fisicoquímica, se trasladaron al laboratorio “Dr. Calderón LABS”, los cuales entregaron los primeros resultados. Cabe resaltar, que, si bien, se pretendía realizar las caracterizaciones por separado (físicas, y químicas), sin embargo, para efectos de optimizar tiempo y mejora de los resultados, se realizaron en un mismo análisis. A continuación, en la tabla se presenta la caracterización fisicoquímica de la muestra de suelo.

Tabla 7

Características fisicoquímicas del suelo

Elementos	Unidades	Valor	Clave de interpretación
Potasio	Meq/100cc	1.18	Excesivo
Calcio	Meq/100cc	7.83	Alto
Magnesio	Meq/100cc	2.98	Alto
Sodio	Meq/100	0.52	Medio
C.I.C	Meq/100cc	16.20	Medio
Cloruros	Meq/100	0.34	-
Fósforos	Ppm	77	Alto
N-NH4	Ppm	10	Medio
N-NO3	Ppm	40	Medio
Azufre	Ppm	1	Deficiente
Hierro	Ppm	86	Bajo
Manganeso	Ppm	152	Alto
Cobre	Ppm	0.10	Deficiente
Zinc	Ppm	6.50	Alto
Boro	Ppm	0.41	Medio
pH		6.19	Medio
C.E	Ms/cm	0.49	Medio
Arena %	%	22	
Limo %	%	60	
Arcilla %	%	18	
Textura	Franco-limosa		
Materia orgánica	%	3.00	
C.O	%	1.74	Medio

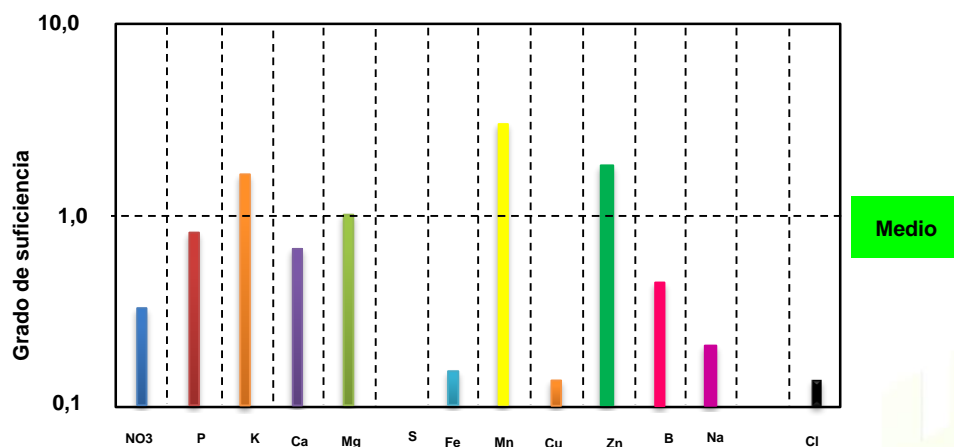
Saturación humedad	%	35	Bajo
Saturación de bases	%	100	
Densidad aparente	g/cc	1.40	

Fuente: Calderón LABS, 2021

Una vez realizado el análisis fisicoquímico de su muestra se determinó que cuenta con las siguientes características: Niveles excesivos de potasio, Niveles altos de calcio, magnesio, fosforo, manganeso y zinc. Niveles medios de nitrógeno nítrico y boro. Niveles bajos de hierro. Niveles deficientes de azufre, cobre. pH ligeramente ácido. Textura franco-limosa. Niveles altos de materia orgánica. Niveles bajos de cloruros.

Figura 9

Suficiencia nutricional



Fuente: Calderón LABS, 2021

La anterior corresponde a la gráfica interpretativa de los niveles hallados en el análisis. Se interpretó de la siguiente manera: el valor ideal coincide con la raya que va desde el "1.0" hasta la letra "M". Cuando el valor hallado está muy por debajo de esta raya, quiere decir que el elemento está deficiente. Si está muy por encima, quiere decir que el elemento está en exceso. Cuando la barra no aparece quiere decir que el elemento está superdeficiente.

6.1.3 Caracterización microbiológica al suelo muestreado



Las muestra de suelo recolectada con la finalidad de realizar la caracterización microbiológica, se trasladaron al laboratorio “Dr. Calderón LABS”, los cuales entregaron los primeros resultados.

Tabla 8

Caracterización microbiológica

ENT. No.	Nombre científico	Población	Método utilizado
1	<i>Bacterias Mesofilas Aerobias.</i>	13 x 10 E 6 UFC/g	LBC 195
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	85 x 10 E 4 UFC/g	LBC 195
3	<i>Levaduras</i>	5 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
4	<i>Penicillium sp.</i>	3 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
5	<i>Aspergillus sp.</i>	3 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
6	<i>Mucor sp.</i>	5 x 10 E 2 UFC/g	LBC 195

Fuente: Calderón LABS, 2021

Figura 10

Entidades patogénicas y no patogénicas identificadas





Fuente: Calderón LABS, 2021

Los microorganismos son de gran importancia para el suelo y su funcionamiento, ya que intervienen en el establecimiento de los ciclos biogeoquímicos así como en la formación de la estructura de estos, además son esenciales ya que se consideran un buen indicador de la calidad del suelo. Las bacterias mesófilas acidificantes son las poblaciones dominantes en los residuos orgánicos frescos. Las Pseudomonas se encuentran típicamente en las plantas y en el suelo, donde actúan como actores clave en eventos cruciales para el medio ambiente, como el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno, la biodegradación y la descomposición.

Por otra parte, las levaduras del suelo forman parte de la comunidad de microorganismos descomponedores y juegan un papel importante en la agregación del suelo y los ciclos de los nutrientes. En el caso del Penicillium es un género grande que puede encontrarse casi por todas partes, siendo el género de hongos más abundante en suelos.

6.2 Establecimiento del diseño de parcelamiento y densidad de siembra ideales para la instalación de las especies.

6.2.1 Identificación de las parcelas experimentales con sus dimensiones, las cuales se usaron para la siembra.

El diseño de las parcelas experimentales que se usó en nuestra investigación correspondió al modelo de parcela de erosión cerrada con un límite artificial desmontable (Hudson, 1993). El terreno fue dividido en cuatro parcelamientos. Las parcelas presentaron

una superficie total de 3x3, siendo de 0,2m de ancho en el sentido de las curvas de nivel y 2,4 m de largo en la dirección de la pendiente. ´

Para el caso del establecimiento del diseño de parcelamiento, se tomó como base la guía metodológica del SENA (2018): Trazado para la siembra, la cual, menciona distintas formas de hacer la siembra conforme a las necesidades y características del terreno.

La tabla permite observar a detalle las características de cada siembra.

Tabla 9

Diseño de parcelamiento

Parcelamiento	Dimensiones	Siembra realizada
Parcela 1	3x3 metros	Siembra con <i>Guazuma ulmifolia</i>
Parcela 2	3x3 metros	Siembra con <i>Guazuma ulmifolia</i>
Parcela 3	3x3 metros	Siembra con <i>Cardaminopsis arenosa</i>
Parcela 4	3x3 metros	Siembra con <i>Cardaminopsis arenosa</i>

Fuente: Autores, 2022

Como se había mencionado antes, el terreno fue dividido en 4 parcelas, dos para la siembra con *Guazuma ulmifolia*, y dos con *Cardaminopsis arenosa*.

Así mismo, dentro de la definición de los parcelamientos, se realizó la preparación del terreno para la siembra. Para esta actividad, se inició limpiando el terreno de malezas y pastales que impidieran la siembra óptima de las especies, así mismo, se humedeció la tierra y se realizó una mezcla que homogenizara el terreno. Las imágenes a continuación permiten observar el terreno ya limpio.

Figura 11

Labranza del terreno



Fuente: Autores, 2022

6.2.2 Establecimiento la densidad de siembra de las especies en los suelos estériles del corregimiento.

Para el caso del establecimiento de la densidad de siembra, se tomó como base la guía metodológica del SENA (2018): Trazado para la siembra, la cual, menciona distintas formas de hacer la siembra conforme a las necesidades y características del terreno.

El trazado es importante porque se sabe exactamente cuántas plantas necesita el agricultor, cómo van distribuidas y cómo controlar la erosión. Así que para cada grado de inclinación del terreno se escoge el trazado que más le convenga (Trazado para la siembra, 2018).

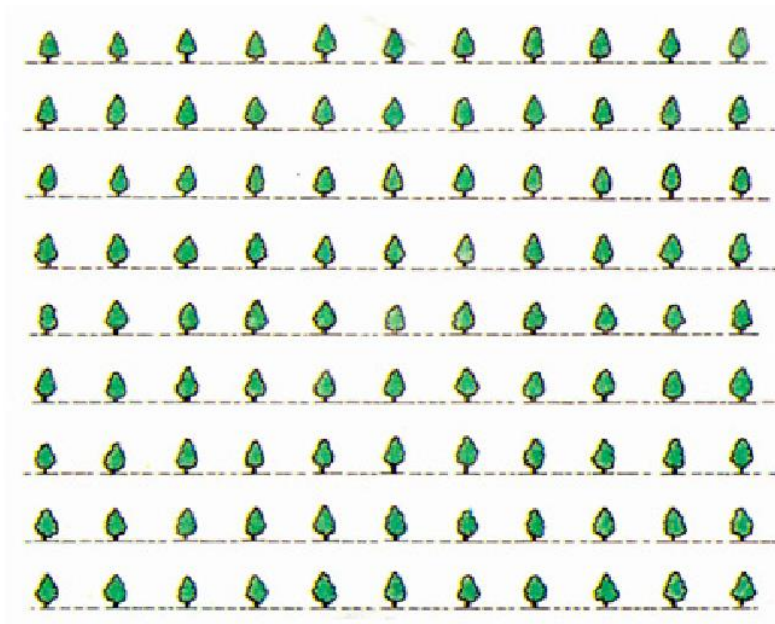
En primer lugar, se determinó la distancia de siembra, la cual para la primera y tercera parcela, se mantuvo distancias de 0,5 metros, y en las parcelas, dos y cuatro, se dejó 1 metro entre plántula y plántula, con la finalidad de observar el comportamiento de las especies con diferentes separaciones.

Así mismo, según las recomendaciones de la guía metodológica del SENA (2018): Trazado para la siembra, se estableció el trazado cuadrado, el cual cumplía con la topografía

del terreno. Este sistema de trazado recomendable únicamente para terrenos planos o de muy poca pendiente; los terrenos con pendientes mayores del 5% quedan sin protección y el agua lluvia corre por las calles y arrastra el suelo.

Figura 12

Trazado escogido para la siembra



Fuente: (Trazado para la siembra, 2018).

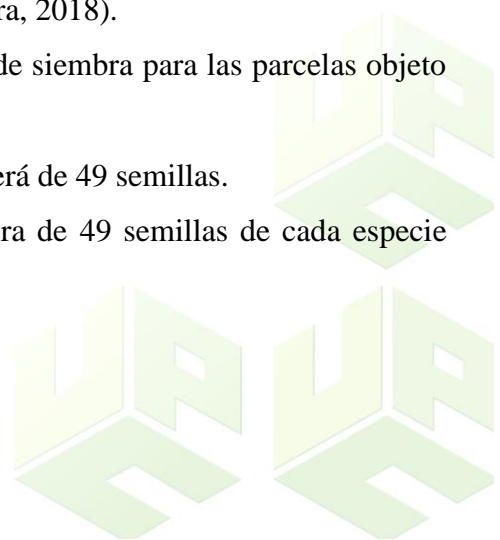
De esta manera, se pudo determinar la densidad de siembra para las parcelas objeto de estudio.

Para las parcelas de 1x1 la densidad de siembra será de 49 semillas.

Conforme a lo anterior, se implementó al siembra de 49 semillas de cada especie establecida.

Figura 13

Siembra establecida





Fuente: Autores, 2022

6.3 Determinación del porcentaje de recuperación del suelo sometido a biorremediación por la especie *Guazuma ulmifolia* y la especie de monitoreo *Cardaminopsis arenosa*.

6.3.1: Caracterización física, química y microbiológica a muestras de suelo con la finalidad de comparar la eficiencia en la recuperación del suelo estéril del corregimiento por medio de la especie de monitoreo *Cardaminopsis arenosa*.

6.3.1.1 Seguimiento al crecimiento y adaptación de las especies en el suelo

La siembra se estableció el día 20 de julio del 2021, y finalizó el 20 de noviembre del 2021, para un total de 5 meses de crecimiento y adaptación por parte de las especies, *Cardaminopsis arenosa*, y, *Guazuma ulmifolia*. Por otra parte, se evaluaron aspectos como apariencia de las hojas y tallos, crecimiento, color, tamaño, etc. Por medio de la tabla a continuación, se hace la revisión al seguimiento de las especies por parcela.

Tabla 10

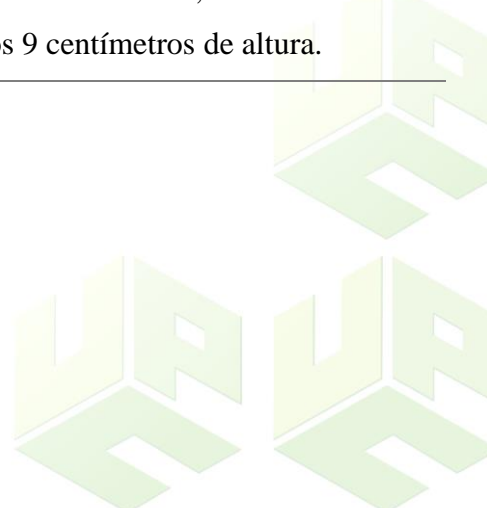
Seguimiento a parcela 1

Número de parcela	PARCELA 1
Especie sembrada	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Distancia de siembra	0,5 metros
Aspectos evaluados	Descripción
Apariencia de las hojas y tallos	Las hojas se observaron lisas con apariencia normal, sin deformaciones, o variaciones en su textura.
Color	Color verde vivo, sin manchas, o variaciones en un color normal
Crecimiento	El crecimiento empezó a observarse a partir de la semana 3, alcanzando una altura notable en la semana 8
Tamaño	La altura que alcanzó la rama fue de 6 centímetros. En el caso de la hoja, se lograron 5centímetros. El tallo de la especie creció hasta los 35 centímetros. Por último, la raíz de esta alcanzó los 9 centímetros de altura.

Fuente: Autores, 2022

Figura 14

Crecimiento en parcela 1





Fuente: Autores, 2022

Tabla 11

Seguimiento a parcela 2

Número de parcela	PARCELA 2
Especie sembrada	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Distancia de siembra	1 metro
Aspectos evaluados	Descripción
Apariencia de las hojas y tallos	Las hojas se observaron lisas con apariencia normal, sin deformaciones, o variaciones en su textura.



Color	Color verde vivo mayor a las de la parcela 1, sin manchas, o variaciones en un color normal.
Crecimiento	El crecimiento empezó a observarse a partir de la semana 2 a 3, alcanzando una altura notable en la semana 8
Tamaño	La altura que alcanzó la rama fue de 10 centímetros. En el caso de la hoja, se lograron 8 centímetros. El tallo de la especie creció hasta los 53 centímetros. Por último, la raíz de esta alcanzó los 12 centímetros de altura.

Fuente: Autor, 2022

Figura 15

Seguimiento parcela 2





Fuente: Autores, 2022

Conforme al crecimiento que se observa en las dos primeras parcelas, con siembra de *Guazuma ulmifolia*, se puede apreciar que, la segunda de estas creció más en consideración con la siembra de la parcela 1, ya que, las hojas, tallo, raíces y rama aumentaron su crecimiento en centímetros, a pesar de mantener el mismo tiempo, con la única diferencia de la distancia entre plántula y plántula, la cual corresponde a 1 metro para esta.

Tabla 12

Seguimiento a parcela 3

Número de parcela	PARCELA 3
Especie sembrada	<i>Cardaminopsis arenosa</i>
Distancia de siembra	0,5 metros

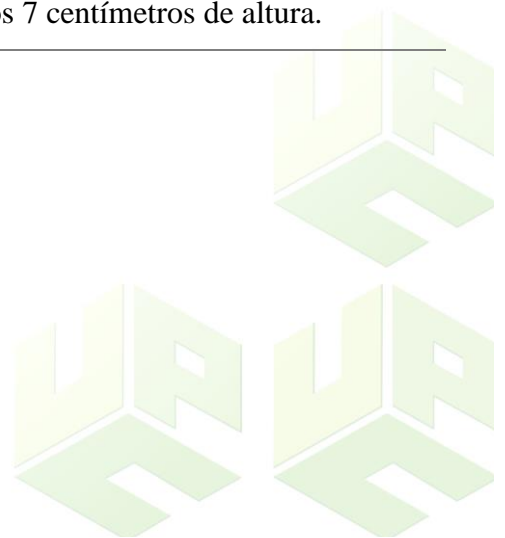


Aspectos evaluados	Descripción
Apariencia de las hojas y tallos	Las hojas se observaron de textura rugosa, largas y de color verde normal, alargadas y delgadas. El tallo de la especie es delgado de color verde grisáceo.
Color	Color verde opaco en comparación con la otra especie. No se presentaron manchas o coloraciones distintas a lo que se esperaba.
Crecimiento	El crecimiento empezó a observarse a partir de la semana 3, alcanzando una altura notable en la semana 7
Tamaño	La altura que alcanzó la rama fue de 10 centímetros. En el caso de la hoja, se lograron 5 centímetros. El tallo de la especie creció hasta los 19 centímetros. Por último, la raíz de esta alcanzó los 7 centímetros de altura.

Fuente: Autores, 2022

Figura 16

Seguimiento parcela 3





Fuente: Autores, 2022

Tabla 13

Seguimiento parcela 4

Número de parcela	PARCELA 4
Especie sembrada	<i>Cardaminopsis arenosa</i>
Distancia de siembra	1 metros
Aspectos evaluados	Descripción
Apariencia de las hojas y tallos	Las hojas se observaron de textura rugosa, largas y de color verde normal, alargadas y delgadas. El tallo de la especie es delgado de color verde grisáceo.
Color	Color verde opaco en comparación con la otra especie. No se presentaron manchas o coloraciones distintas a lo que se esperaba.

Crecimiento

El crecimiento empezó a observarse a partir de la semana 3, alcanzando una altura notable en la semana 7

Tamaño

La altura que alcanzó la rama fue de 6,5 centímetros.

En el caso de la hoja, se lograron 6 centímetros.

El tallo de la especie creció hasta los 60 centímetros. Por último, la raíz de esta alcanzó los 12 centímetros de altura.

Fuente: Autores, 2022

Figura 17

Seguimiento parcela 4

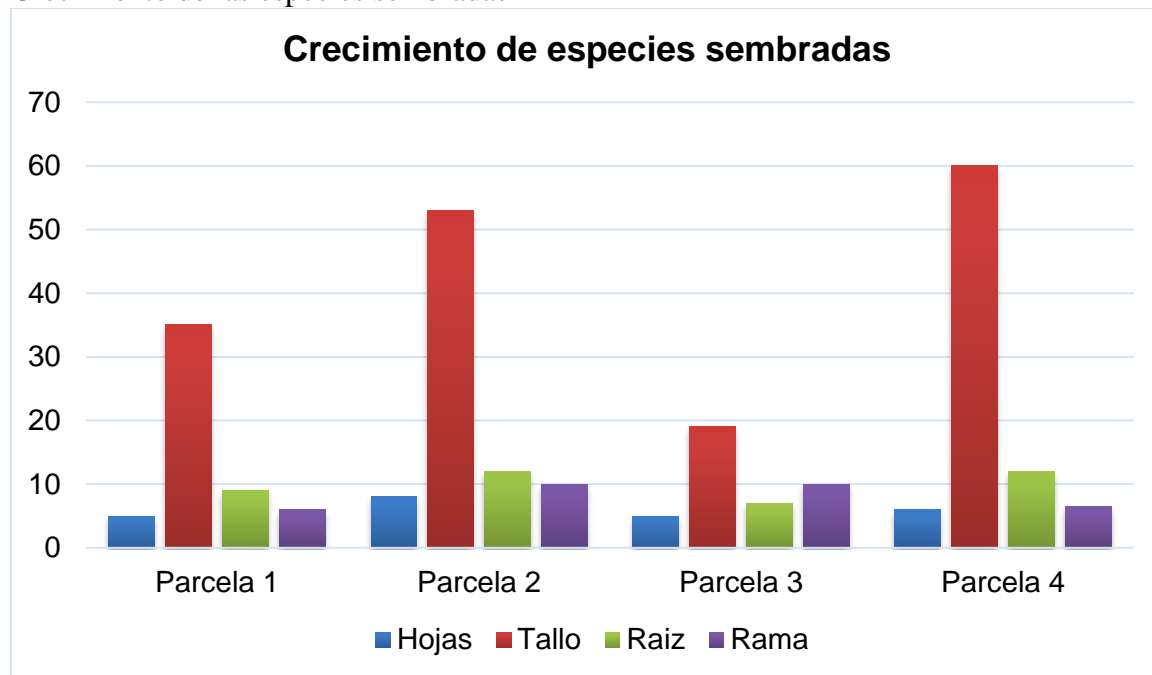


Fuente: Autores, 2022

Una vez evaluado el comportamiento y el crecimiento de las especies en las distintas parcelas según su distancia de siembra y demás aspectos, se logra deducir que, las especies que se sembraron a una distancia de 1 metro crecieron mucho más que las que se sembraron a 0,5 metros, puesto que, tanto en tallo hojas, raíces, y ramas, fueron más alargadas y en mejores condiciones que las demás. Tanto para la especie *Cardaminopsis arenosa*, como la especie *Guazuma ulmifolia*.

Figura 18

Crecimiento de las especies sembradas



Fuente: Autores, 2022

6.3.1.2 Caracterización física, química y microbiológica a muestras de suelo.

Se realizaron análisis de caracterización físico, químico y microbiológico al suelo recuperado con *Guazuma ulmifolia* y al suelo que está con la especie control o de monitoreo que corresponde a *Cardaminopsis arenosa*, con la finalidad de comparar los resultados y

valorar la eficiencia de recuperación. El procedimiento realizado para las caracterizaciones fueron el mismo efectuado en la fase uno.

Las muestras de suelos recolectadas con la finalidad de realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica se trasladaron al laboratorio “Dr. Calderón LABS”, los cuales entregaron los primeros resultados. A continuación, en la tabla se presenta la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las muestras de suelo por parcela.

Tabla 14

Caracterización fisicoquímica parcela 1

Elementos	Unidades	Valor	Clave de interpretación
Potasio	Meq/100cc	1.36	Excesivo
Calcio	Meq/100cc	11.20	Alto
Magnesio	Meq/100cc	3.45	Alto
Sodio	Meq/100	0.18	Deficiente
C.I.C	Meq/100cc	18.35	Medio
Cloruros	Meq/100	0.15	-
Fósforos	Ppm	154	Excesivo
N-NH4	Ppm	35	Alto
N-NO3	Ppm	30	Medio
Azufre	Ppm	1	Deficiente
Hierro	Ppm	157	Bajo
Manganeso	Ppm	153	Alto
Cobre	Ppm	0.90	Medio
Zinc	Ppm	32	Excesivo
Boro	Ppm	0.24	Medio
pH		6.25	Medio
C.E	Ms/cm	0.23	Medio



Arena %	%	5	
Limo %	%	74	
Arcilla %	%	21	
Textura	Franco-limosa		
Materia orgánica	%	2.55	
C.O	%	1.48	Medio
Saturación humedad	%	37	Bajo
Saturación de bases	%	100	
Densidad aparente	g/cc	1.14	

Fuente: Calderón LABS, 2022

Tabla 15

Caracterización fisicoquímica parcela 2

Elementos	Unidades	Valor	Clave de interpretación
Potasio	Meq/100cc	1.60	Excesivo
Calcio	Meq/100cc	12.80	Alto
Magnesio	Meq/100cc	3.76	Alto
Sodio	Meq/100	0.33	Bajo
C.I.C	Meq/100cc	14.92	Medio
Cloruros	Meq/100	0.15	-
Fósforos	Ppm	214	Excesivo
N-NH4	Ppm	34	Alto
N-NO3	Ppm	40	Medio
Azufre	Ppm	1	Deficiente
Hierro	Ppm	202	Medio
Manganeso	Ppm	228	Excesivo
Cobre	Ppm	0.90	Medio
Zinc	Ppm	41,60	Excesivo



Boro	Ppm	0.25	Medio
pH		6.63	Alto
C.E	Ms/cm	0.37	Medio
Arena %	%	29	
Limo %	%	54	
Arcilla %	%	17	
Textura	Franco-limosa		
Materia orgánica	%	2.72	
C.O	%	1.58	Medio
Saturación humedad	%	35	Bajo
Saturación de bases	%	100	
Densidad aparente	g/cc	1.31	

Fuente: Calderón LABS, 2022

Tabla 16

Caracterización fisicoquímica parcela 3

Elementos	Unidades	Valor	Clave de interpretación
Potasio	Meq/100cc	1.54	Alto
Calcio	Meq/100cc	12.10	Medio
Magnesio	Meq/100cc	3.53	Medio
Sodio	Meq/100	0.83	Medio
C.I.C	Meq/100cc	16.98	Medio
Cloruros	Meq/100	1.15	-
Fósforos	Ppm	153	Medio
N-NH4	Ppm	38	Alto
N-NO3	Ppm	100	Medio
Azufre	Ppm	1	Deficiente
Hierro	Ppm	188	Bajo



Manganeso	Ppm	220	Excesivo
Cobre	Ppm	0.90	Medio
Zinc	Ppm	35	Excesivo
Boro	Ppm	0.27	Deficiente
pH		6.59	Medio
C.E	Ms/cm	0.92	Bajo
Arena %	%	10	
Limo %	%	72	
Arcilla %	%	18	
Textura	Franco-limosa		
Materia orgánica	%	2.58	
C.O	%	1.50	Bajo
Saturación humedad	%	34	Medio
Saturación de bases	%	100	
Densidad aparente	g/cc	1.27	

Fuente: Calderón LABS, 2022

Tabla 17

Caracterización fisicoquímica parcela 4

Elementos	Unidades	Valor	Clave de interpretación
Potasio	Meq/100cc	1.44	Alto
Calcio	Meq/100cc	10.90	Medio
Magnesio	Meq/100cc	3.25	Medio
Sodio	Meq/100	1.05	Medio
C.I.C	Meq/100cc	18.11	Medio
Cloruros	Meq/100	1.23	-
Fósforos	Ppm	161	Medio



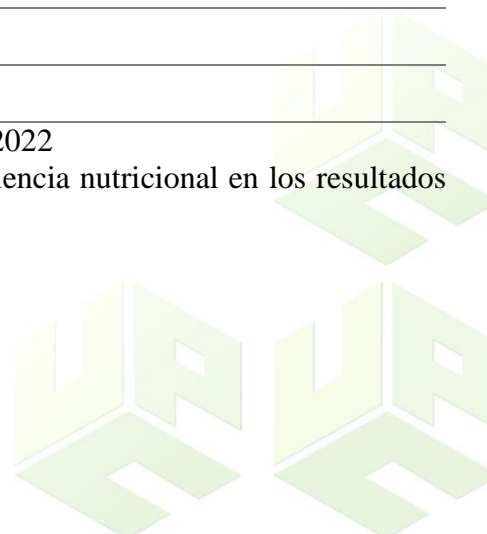
N-NH4	Ppm	22	Alto
N-NO3	Ppm	100	Medio
Azufre	Ppm	1	Deficiente
Hierro	Ppm	182	Bajo
Manganeso	Ppm	221	Excesivo
Cobre	Ppm	0.50	Medio
Zinc	Ppm	35.40	Excesivo
Boro	Ppm	2.49	Deficiente
pH		6.39	Medio
C.E	Ms/cm	0.91	Bajo
Arena %	%	10	
Limo %	%	68	
Arcilla %	%	22	
Textura	Franco-limosa		
Materia orgánica	%	2.51	
C.O	%	1.46	Bajo
Saturación humedad	%	36	Medio
Saturación de bases	%	100	
Densidad aparente	g/cc	1.25	

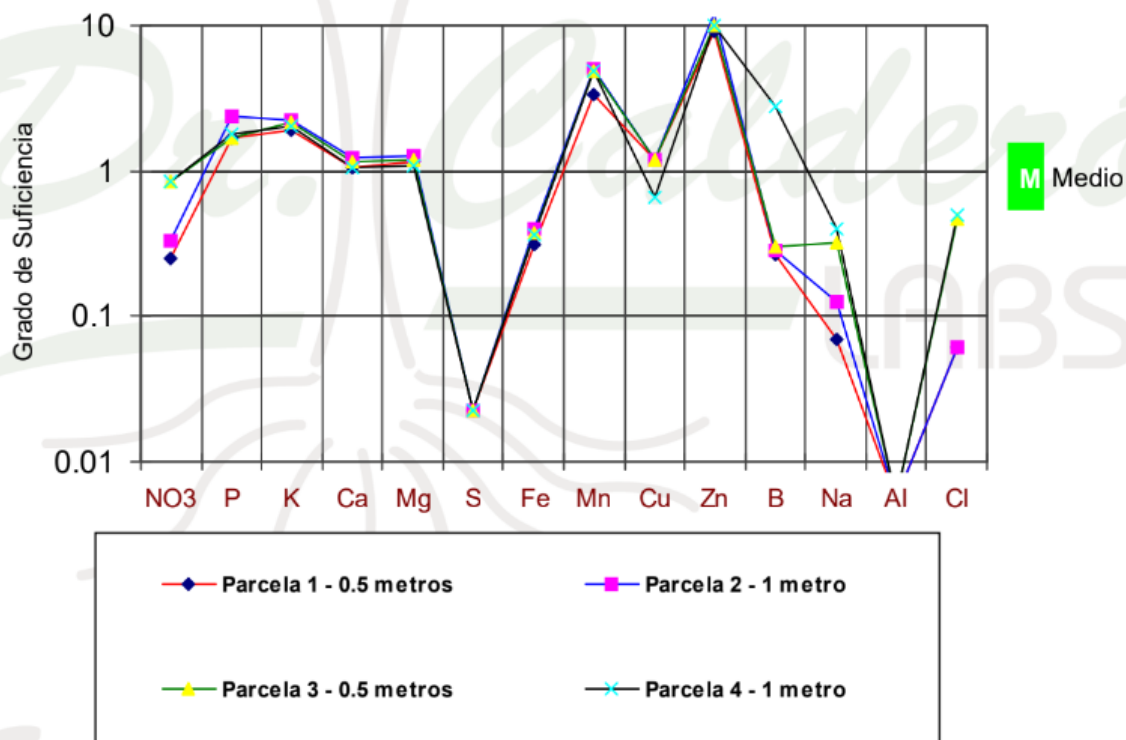
Fuente: Calderón LABS, 2022

Así mismo, se tuvo en cuenta la gráfica de suficiencia nutricional en los resultados obtenidos.

Figura 19

Suficiencia nutricional





Fuente: Calderón LABS, 2022

En cuanto a la caracterización microbiológica, se obtuvo que:

Tabla 18

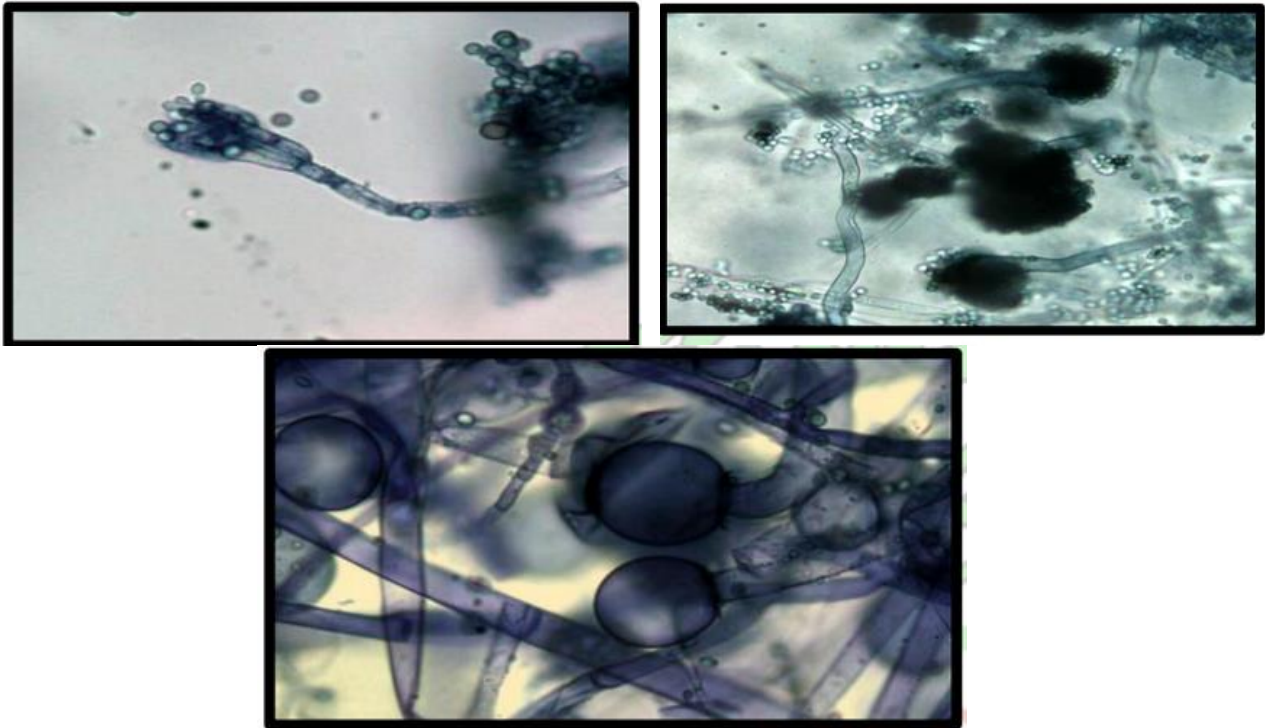
Caracterización microbiológica

ENT. No.	Nombre científico	Población	Método utilizado
1	<i>Bacterias Mesofilas Aerobias.</i>	35 x 10 E 4 UFC/g	LBC 195
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	34 x 10 E 1 UFC/g	LBC 195
3	<i>Levaduras</i>	8 x 10 E 2 UFC/g	LBC 195
4	<i>Penicillium sp.</i>	2 x 10 E 5 UFC/g	LBC 195
5	<i>Aspergillus sp.</i>	3 x 10 E 5 UFC/g	LBC 195
6	<i>Mucor sp.</i>	4 x 10 E 4 UFC/g	LBC 195

Fuente: Calderón LABS, 2022

Figura 20

Entidades patógenas y no patógenas identificadas



Fuente: Calderón LABS, 2022

6.3.2 Análisis de los datos de las caracterizaciones de suelos antes y después de ser sometidos a biorremediación

Una vez obtenido los datos de las caracterizaciones de los suelos estériles y después de haberse sometido a biorremediación con las especies seleccionadas, se realizó el análisis correspondiente a los resultados obtenidos.

Tabla 19

Análisis de los datos de las caracterizaciones de suelos antes y después



Elementos	Unidades	Parcelas antes de biorremediación	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
Potasio	Meq/100cc	1.18	1.36	1.60	1.54	1.44
Calcio	Meq/100cc	7.83	11.20	12.80	12.10	10.90
Magnesio	Meq/100cc	2.98	3.45	3.76	3.53	3.25
Sodio	Meq/100	0.52	0.18	0.33	0.83	1.05
C.I.C	Meq/100cc	16.20	18.35	14.92	16.98	18.11
Cloruros	Meq/100	0.34	0.15	0.15	1.15	1.23
Fósforos	Ppm	77	154	214	153	161
N-NH4	Ppm	10	35	34	38	22
N-NO3	Ppm	40	30	40	100	100
Azufre	Ppm	1	1	1	1	1
Hierro	Ppm	86	157	202	188	182
Manganeso	Ppm	152	153	228	220	221
Cobre	Ppm	0.10	0.90	0.90	0.90	0.50
Zinc	Ppm	6.50	32	41,60	35	35.40
Boro	Ppm	0.41	0.24	0.25	0.27	2.49
pH		6.19	6.25	6.63	6.59	6.39
C.E	Ms/cm	0.49	0.23	0.37	0.92	0.91
Arena %	%	22	5	29	10	10
Limo %	%	60	74	54	72	68
Arcilla %	%	18	21	17	18	22
Textura		Franco-limosa				
Materia orgánica	%	3.00	2.55	2,72	2.58	2,51
C.O	%	1.74	1.48	1.58	1.50	1.46

Saturación humedad	%	35	37	35	34	36
Saturación de bases	%	100	100	100	100	100
Densidad aparente	g/cc	1.40	1.14	1.31	1.27	1.25

Fuente: Autores, 2022

Una vez realizado el análisis fisicoquímico de su muestra de suelo antes de la siembra, se determinó que cuenta con las siguientes características: Niveles excesivos de potasio, Niveles altos de calcio, magnesio, fosforo, manganeso y zinc. Niveles medios de nitrógeno nítrico y boro. Niveles bajos de hierro. Niveles deficientes de azufre, cobre. pH ligeramente ácido. Textura franco-limosa. Niveles altos de materia orgánica. Niveles bajos de cloruros.

En el caso de las parcelas se logró evidenciar que:

Parcela 1 - 0.5 metros: Niveles excesivos de potasio, fosforo, zinc. Niveles altos de calcio, magnesio, manganeso. Niveles medios de nitrógeno nítrico, cobre y boro. Niveles deficientes de azufre. pH ligeramente ácido. Textura franco-limosa. Niveles medios de materia orgánica. Niveles bajos de cloruros.

Parcela 2 - 1 metro: Niveles excesivos de potasio, fosforo, manganeso y zinc. Niveles altos de calcio, magnesio. Niveles medios de nitrógeno nítrico, hierro, cobre y boro. Niveles deficientes de azufre. pH neutro. Textura franco-limosa. Niveles medios de materia orgánica. Niveles bajos de cloruros.

Parcela 3 - 0.5 metros: Niveles excesivos de manganeso. Niveles altos de potasio. Niveles medios de calcio, magnesio, fosforo, nitrógeno, cobre. Niveles bajos hierro. Niveles deficientes de azufre y boro. pH ligeramente ácido. Textura franco-limosa. Niveles medios de materia orgánica. Niveles bajos de cloruros.

Parcela 4 - 1 metro: Niveles excesivos de manganeso, zinc y boro. Niveles altos de potasio, fosforo. Niveles medios de calcio, magnesio, nitrógeno nítrico. Niveles bajos de

hierro. Niveles deficientes de azufre. pH ligeramente ácido. Textura franco-limosa. Niveles medios de materia orgánica. Niveles bajos de cloruros.

En el caso de la parcela antes de la siembra, la parcela 1 y 2 mostraron niveles excesivos de potasio, aún con la siembra ya establecida. En comparación con las parcelas 3 y 4, donde este nivel bajó hasta un nivel alto, lo que podría deberse a la capacidad de la especie de absorber este elemento. El pH se mantuvo ligeramente ácido para las parcelas, excepto la 2, la cual obtuvo un pH neutro. Todos los parcelamientos presentaron niveles bajos de cloruros y niveles deficientes de azufre. Las 4 parcelas mostraron niveles medios de materia orgánica en comparación con el suelo antes de ser sometido a la siembra.

Tabla 20

Análisis de caracterización microbiológica

Nombre científico	Población antes de la siembra	Población después de la siembra
<i>Bacterias Mesofilas Aerobias.</i>	13 x 10 ⁶ UFC/g	35 x 10 ⁴ UFC/g
<i>Pseudomonas sp.</i>	85 x 10 ⁴ UFC/g	34 x 10 ¹ UFC/g
<i>Levaduras</i>	5 x 10 ³ UFC/g	8 x 10 ² UFC/g
<i>Penicillium sp.</i>	3 x 10 ³ UFC/g	2 x 10 ⁵ UFC/g
<i>Aspergillus sp.</i>	3 x 10 ³ UFC/g	3 x 10 ⁵ UFC/g
<i>Mucor sp.</i>	5 x 10 ² UFC/g	4 x 10 ⁴ UFC/g

Fuente: Autores, 2022

Después de realizar el análisis, se logró determinar que, para las muestras después de la siembra y antes de esta, no se evidenció la presencia de hongos fitopatógenos limitantes para las plantas.

6.3.3 Determinación del porcentaje de recuperación de los suelos por medio de las especies seleccionadas.

Una vez elaboradas las tablas se analizaron las variaciones de los parámetros de las muestras de suelos antes y después de someterse a biorremediación, lo que nos llevó a identificar el porcentaje de recuperación del suelo por medio de la variación de cada parámetro.

Para la determinación de la eficacia del tratamiento, se decidió tomar como guía metodológica, la propuesta por Calderón, et. Al (2018), basada en la relación de la eficacia con la materia orgánica del suelo. La fórmula propuesta por los autores es la siguiente:

$$E (\%) = 18.058 * M.O(\%) + 0.0293$$

Donde:

E (%): Eficiencia de biorremediación

M.O (%): Porcentaje de Materia orgánica aproximada.

Conforme a lo anterior, se determinó la eficiencia del tratamiento de biorremediación por parcela, evidenciados en la siguiente gráfica:

Tabla 21

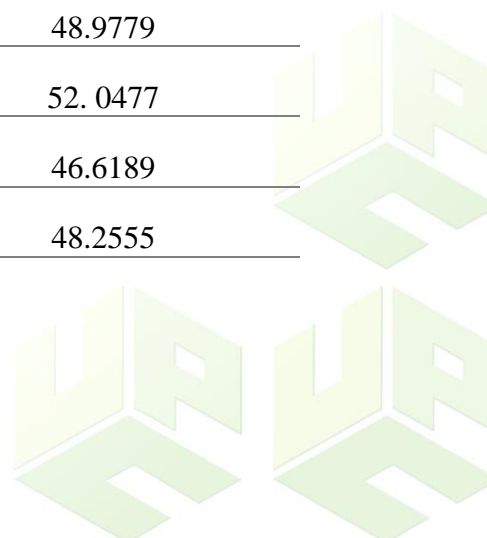
Eficiencia de tratamiento por parcela

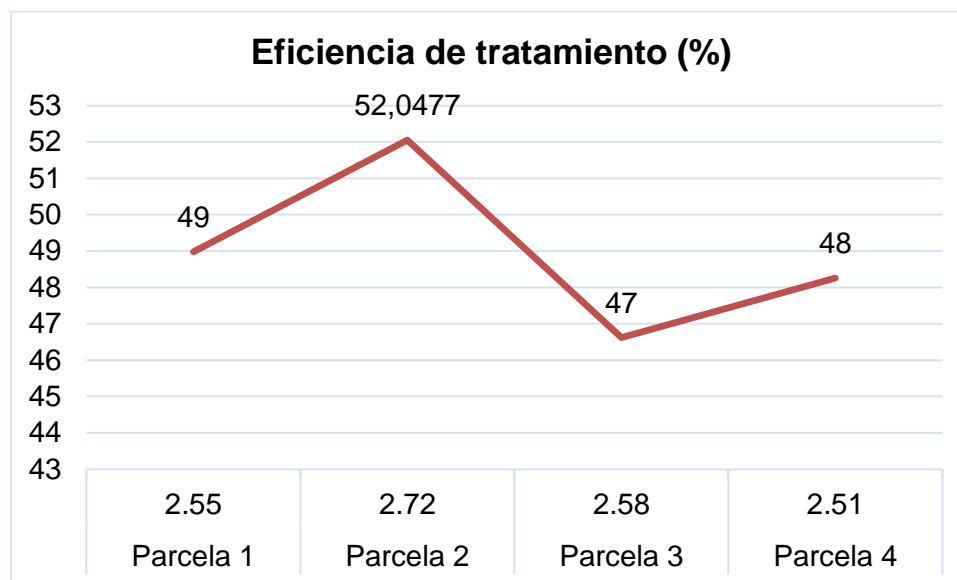
Parcela	%M. O	Eficiencia de tratamiento (%)
Parcela 1	2.55	48.9779
Parcela 2	2.72	52.0477
Parcela 3	2.58	46.6189
Parcela 4	2.51	48.2555

Fuente: Autores, 2022

Figura 21

Eficiencia de tratamiento por parcela





Fuente: Autores, 2022

Se puede evidenciar que ocurrió una mayor eficiencia del tratamiento en la parcela número dos, la cual fue sembrada con *Guazuma ulmifolia*, a distancia de 1 metro, con un porcentaje del 52.0477%, seguida de la parcela 1, con un 48.97%, por lo que se puede deducir que, la especie *Guazuma ulmifolia*, presenta mayores características para ser usada como especie de biorremediación en suelos.

6.4: Diseño de estrategias para fomentar el desarrollo incipiente de técnicas de recuperación de suelos en el corregimiento de Guaymaral, Cesar.

6.4.1 Estrategias para recuperación de suelos y mejora de las condiciones encontradas en los análisis.

En primer lugar, se decidió plantear algunas estrategias para la recuperación y mejora del suelo que fue analizado, con la finalidad de, además de utilizar la especie *Guazuma ulmifolia*, fortalecer la recuperación por medio de diversas prácticas. Las actividades propuestas con este fin fueron las siguientes:

Para el caso de la siembra con forestales:

La propuesta es la fertilización de presiembra, la cual se realiza con base en hoyos de 40 cm de largo X 40cm de ancho X 40 cm de profundidad, se sugiere que realice una mezcla



homogénea con las enmiendas, fertilizantes y el volumen de suelo extraído por hoyo, posterior a esto utilizar esta mezcla al momento de la siembra.

Como un posible mantenimiento se sugiere que las dosis implementadas en la presiembra se utilicen cada 4 meses. La primera aplicación realizarla a los 30 días después de sembrado.

En el caso de la siembra con leguminosas

Realizar una fertilización en dos etapas unas en la presiembra y otra a los 45 días después de la siembra.

Así mismo, para llevar el suelo al nivel ideal, se propone adecuar a las siguientes condiciones:

Tabla 22

Condiciones nivel ideal

Área del plato	0,16
Profundidad efectiva	0,4
Volumen de suelo	0,064
Materia orgánica	4%
Nitrógeno nítrico	330
Fosforo	70
Potasio	250
Magnesio	85
Hierro	100
Manganeso	18
Azufre	95
Cobre	3
Zinc	5
Boro	2,5
Aplicación de otros productos	
Compost (KG)	2,00
Urea (gramos)	30
DAP (gramos)	10
KCI (gramos)	20
Cadalomita (gramos)	0
MgSO4 (gramos)	5
Yeso (gramos)	50

Fuente: Autores, 2022

De esta manera, se logra llevar el suelo a niveles óptimos para su restauración eficiente, acompañado además de la especie que mejores resultados presentó en la investigación.

6.4.2: Realización de actividades de capacitación y concientización a los habitantes del corregimiento de Guaymaral

6.4.2 Formulación de alternativas de recuperación de los suelos del corregimiento de Guaymaral a los habitantes.

Se realizó una charla con los habitantes del corregimiento de Guaymaral, Cesar, en una de las casas de los habitantes del corregimiento, quienes amablemente ofrecieron el espacio y el lugar para ser atendidos por nosotros, puesto que, como se había mencionado antes, la mayoría de estos dedican sus actividades económicas en la agricultura. La charla se realizó con la finalidad de compartir algunas alternativas y estrategias de restauración de suelos afectados por procesos antrópicos, y naturales. Los habitantes se mostraron interesados en la conversación, incluso compartían con nosotros sus conocimientos.

Entre las alternativas que se socializaron con los habitantes, cabe resaltar que estas fueron propuestas mediante revisiones bibliográficas extensivas, que respondieran a las necesidades identificadas del corregimiento, se mencionaron las siguientes:

Conformar los corredores ecológicos, con el fin de implementar planes de establecimiento de coberturas vegetales arbóreas. El desarrollo de estas estrategias redundará en beneficios para la conservación biológica.

Los sitios degradados pueden requerir la adición de nutrientes específicos (Bradshaw, 1983; Suding et al 2004; Vallejo et al., 2006) o la inoculación de semillas con bacterias simbióticas para mejorar el éxito del establecimiento (Thrall et al., 2005). Estos suelos degradados y tratados por restauración ecológica, mediante la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas y fitoestabilizantes deben ser evaluados, basándose no sólo en las características químicas del suelo y la disponibilidad de metal, sino también en los ensayos

adicionales que miden la actividad microbiana del suelo o actividades de la estructura de la comunidad y de la enzima relacionada con el ciclo de nutrientes (C, N, P y S) (Alvarenga et al., 2008; Hinojosa et al, 2004a, b; ISO / DIS 17402, 2006; Zhang et al., 2006). Con la adición de enmiendas se incrementa la materia orgánica, contribuyendo indirectamente a la formación de agregados (Six et al., 1998; Wick et al., 2010).

En las áreas deforestadas, se pueden llevar a cabo labores de preservación de suelos, que posteriormente sean utilizados en acciones de rehabilitación, para conformar en ellos un nuevo medio que facilite la sucesión edáfica, vegetal y animal.

Las aplicaciones de biosólidos a los suelos dan como resultado un sustancial suministro de macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes que son esenciales para las plantas (Haynes et al. 2009). Adiciones de materia orgánica en los biosólidos pueden mejorar la agregación del suelo, aumentar la capacidad retención de agua y promover la actividad microbiana del suelo (Khaleel et al. 1981; Fernandes et al. 2005). Los lodos obtenidos de las plantas de tratamiento de agua corresponden a un material con un alto componente de materia orgánica; es por esto por lo que los efectos de la aplicación de lodos urbanos son predominantemente físicos, mientras que los efectos químicos y nutricionales dependerán de la composición, tratamiento y método de aplicación. Por la composición de los lodos urbanos es esperable que los efectos físicos sobre el suelo sean similares a los obtenidos con las aplicaciones de otros tipos de materiales orgánicos, generando cambios en la estructura y en el sistema poroso.

Debido a la inherente baja fertilidad de los materiales a colocar en la restauración, bien sea suelo acopiado o sustituto, el establecimiento de la vegetación requiere la adición de fertilizantes químicos con contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio (Arranz-González, 2004; Daniels & Zipper, 1998). Es importante considerar el aporte de la cantidad total de N requerida para sostener el desarrollo vegetal mediante una fertilización inicial y, posteriormente, esperar que las necesidades sean cubiertas por fijación biológica, en la que el papel de las leguminosas puede ser de gran importancia en las primeras fases. Igualmente,

grandes cantidades de fertilizante pueden asegurar que suficiente fósforo pueda estar disponible durante los primeros años, hasta que se construye esa reserva orgánica.

Los residuos compostados están siendo extensivamente empleados para revegetar y rehabilitar suelos marginales y de baja calidad. Entre los beneficios de la aplicación de compost 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 compost, con dosis de 50 a 350 t/ha (Alexander, 1999; Arranz-González, 2004).

Figura 22

Charla con los habitantes del corregimiento



Fuente: Autores, 2022





8. CONCLUSIONES

Se realizó el parcelamiento de las hectáreas objeto de estudio. El terreno fue dividido en cuatro parcelas, cada una presentó una superficie total de 3x3, siendo de 0,2m de ancho en el sentido de las curvas de nivel y 2,4 m de largo en la dirección de la pendiente. La toma de muestras efectuada para cada parcelamiento se realizó siguiendo la guía para la toma de muestras de suelo del Instituto Geográfica Agustín Codazzi (2015). Las muestra de suelo recolectada con la finalidad de realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica, se trasladaron al laboratorio “Dr. Calderón LABS”. Una vez realizado el análisis fisicoquímico de su muestra se determinó que cuenta con las siguientes características: Niveles excesivos de potasio, Niveles altos de calcio, magnesio, fosforo, manganeso y zinc. Niveles medios de nitrógeno nítrico y boro. Niveles bajos de hierro. Niveles deficientes de azufre, cobre. pH ligeramente ácido. Textura franco-limosa. Niveles altos de materia orgánica. Niveles bajos de cloruros. Después de realizar el análisis microbiológico, se logró determinar que, para las muestras después antes de la siembra, no se evidencio la presencia de hongos fitopatógenos limitantes para las plantas.

Para el caso del establecimiento de la densidad de siembra, se tomó como base la guía metodológica del SENA (2018): Trazado para la siembra. Se determinó la distancia de siembra, la cual para la primera y tercera parcela, se mantuvo distancias de 0,5 metros, y en las parcelas, dos y cuatro, se dejó 1 metro entre plántula y plántula. Se estableció el trazado cuadrado, el cual cumplía con la topografía del terreno. Este sistema de trazado recomendable únicamente para terrenos planos o de muy poca pendiente; los terrenos con pendientes mayores del 5% quedan sin protección y el agua lluvia corre por las calles y arrastra el suelo. La densidad de siembra se calculó bajo el supuesto de un rendimiento de 2,4 toneladas por grano de cada especie (FAO, 2000). Lo que resulta de 71.428.57 semillas por Ha. Como nuestro proyecto se basa en metros, en terrenos de 1m de ancho, la densidad de siembra corresponde a 7 semillas sembradas por metro lineal. Conforme a lo anterior, se implementó al siembra de 49 semillas de cada especie establecida.



La siembra se estableció el día 20 de julio del 2021, y finalizó el 20 de noviembre del 2021, para un total de 5 meses de crecimiento y adaptación por parte de las especies. Se logró deducir que, las especies que se sembraron a una distancia de 1 metro crecieron mucho más que las que se sembraron a 0,5 metros, puesto que, tanto en tallo hojas, raíces, y ramas, fueron más alargadas y en mejores condiciones que las demás. El análisis fisicoquímico permitió evidenciar que, en el caso de la parcela antes de la siembra, la parcela 1 y 2 mostraron niveles excesivos de potasio, aún con la siembra ya establecida. En comparación con las parcelas 3 y 4, donde este nivel bajó hasta un nivel alto, lo que podría deberse a la capacidad de la especie de absorber este elemento. El pH se mantuvo ligeramente ácido para las parcelas, excepto la 2, la cual obtuvo un pH neutro. Todos los parcelamientos presentaron niveles bajos de cloruros y niveles deficientes de azufre. Las 4 parcelas mostraron niveles medios de materia orgánica en comparación con el suelo antes de ser sometido a la siembra. No se evidenció la presencia de hongos fitopatógenos limitantes. Ocurrió una mayor eficiencia del tratamiento en la parcela número dos, la cual fue sembrada con *Guazuma ulmifolia*, con un porcentaje del 52.0477%, seguida de la parcela 1, con un 48.97%, por lo que se puede deducir que, la especie *Guazuma ulmifolia*, presenta mayores características para ser usada como especie de biorremediación en suelos.

Se plantearon estrategias para la recuperación y mejora del suelo para fortalecer la recuperación por medio de diversas prácticas. La propuesta es la fertilización de presiembra, la cual se realiza con base en hoyos de 40 cm de largo X 40cm de ancho X 40 cm de profundidad, se sugiere que realice una mezcla homogénea con las enmiendas, fertilizantes y el volumen de suelo extraído por hoyo, posterior a esto utilizar esta mezcla al momento de la siembra. Se realizó una charla con los habitantes del corregimiento de Guaymaral, Cesar. Entre las estrategias se mencionó el corredor ecológico y el uso de compost elaborado en las mismas casas.



9. RECOMENDACIONES

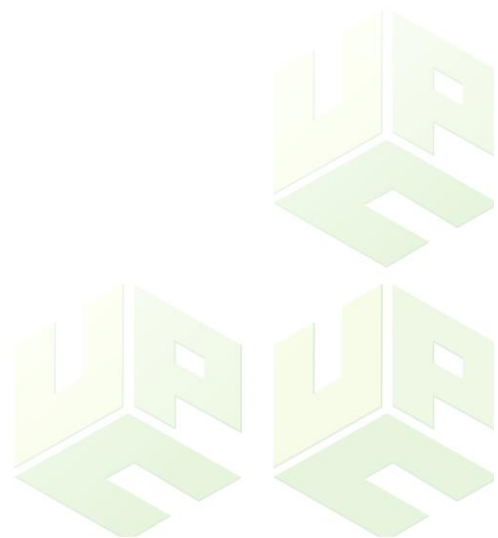
Una vez desarrollado el proyecto de investigación, se proponen las siguientes recomendaciones:

Ampliar las investigaciones acerca de la recuperación de suelos por biorremediación con especies vegetales, en suelos degradados por usos intensivos de la agricultura y ganadería, así como suelos mineros y erosionados.

Realizar seguimiento y adaptación a las especies sembradas por mínimo 6 meses, de esta manera se asegura que estas se desarrollen completamente, y puedan aportar nutrientes al suelo, así como mejorar las condiciones de afectación que estos presenten.

Realizar el cálculo de la densidad de siembra bajo el supuesto de un rendimiento de 3 toneladas por grano de cada especie por recomendación de la (FAO, 2000), con la finalidad de obtener mayor crecimiento de las plántulas y menos error en estas.

Se recomienda implementar las alternativas propuestas por parte de grupos ambientales y/o autoridades competentes, como lo es la elaboración del compost orgánico, lo que permitirá fortalecer la recuperación del suelo de forma más eficiente e incluso económica. Así mismo, se reducen impactos ambientales ocasionados por los agroquímicos y residuos sólidos.



10. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, D. (2013). El componente suelo dentro de los estudios de impacto ambiental para la construcción de carreteras (tesis para optar al título de Magister en Geomorfología y Suelo). Universidad Nacional, Medellín.
- Antúnez, A. (2011). Generalidades históricas de contemporaneidad en la dimensión social-valorativa y jurídica del medio ambiente. Una apreciación en la primera década del siglo XXI de la problemática ambiental. Revista Nómadas, Vol. Especial: América Latina, 1-53.
- Cárdenas, R. (26 de marzo de 2013). Aguas residuales y ciudades del futuro. Portafolio.
- Corredor, E., Fonseca, J. & Páez, E. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 3 (1), 77-83.
- DANE (2005). Series de población 1985 - 2020. Recuperado el 20 de octubre de 2013, de <http://www.dane.gov.co/index.php/población-y-demografía/series-de-población>
- García, L. (2003). Teoría del desarrollo sostenible y legislación ambiental colombiana. Una reflexión cultural. Revista de Derecho 20 (julio), 198-215.
- Holguín, M. T. (2013). Sistema de Gestión Ambiental Académico Administrativo de la Universidad Libre. (U. Libre, Ed.) Recuperado en agosto de 2013, de <http://www.unilibre.edu.co/sga/images/pdf/sistema-de-gestionambiental-academico-administrativo-de-la-universidad-libre-sede-principal-grupo-de-investigacioninterfacultades-territorio-ambiente-y-educacion.pdf>
- Joaquín Benavides López de Mesa Msc, Gladis Quintero Msc, Andrea Liliana Guevara Vizcaíno, Diana Carolina Jaimes Cáceres, Sandra Milena Gutiérrez Riaño, Johanna Miranda García. 2006 Bioremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo.
- José Luis Rodríguez Gallego, Jesús Sánchez Martín. Biorremediación. Artículo: Fundamentos y aspectos microbiológicos.

- Juana B. Ewis, Sarina J. Ergas, Daniel P. Chang, Edward D. Schroeder. Principios de Biorrecuperación (Biorremediación). Mc Graw
- Katerine Torres Delgado and Tatianan Zuluaga Montoya, 2009. "Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos," Facultad de Mina. Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia , Medellín, Trabajo de grado para optar el título de Ingeniería Química.
- Marc Viñas Canals. 2005 Tesis: Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos "caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica". Barcelona
- Maroto arroyo, m^a esther y rogel quesada, juan manuel. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos.
- Martha Cecilia Rincon Lizcano, 2004. "Estudio de la Biorremediación como una alternativa en lamitigación de la contaminación ambiental," Facultad de Ciencias Básicas. Escuela de Química.
- Marving Diaz Consuegra. 1999 "Revisión de los procesos de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos, aplicados en Colombia" Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá.
- Miguel Ángel Cando Rodríguez, 2011. "Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.," Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental.
- Organización de Las Naciones para la Agricultura y Alimentación, 2013. Obtenido en: <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Villacieros, M. 2005. PCB rhizoremediation by Pseudomonas fluorescens F113 derivatives using a Sinorhizobium meliloti nod system to drive bph gene expression. Appl. Environ. Microbiol. 71: 2687-2694.

Viñas, M. 2005. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos: caracterización, microbiología, química y ecotoxicológica. Facultad de biología. Universidad de Barcelona.





11. ANEXOS

Anexo 1. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos después de la siembra



ANÁLISIS DE SUELOS

FAD 2 - Versión 1

Nombre: Pedro Pablo Zamora Jiménez
Dirección: Diag 16 Bis A No. 24 Bis - 79
Ciudad: Valledupar - Cesar

Fecha Análisis: 2022-03-30
No. Laboratorio: AS 104786
Fecha Muestreo: 2022-03-01
Fecha Recepción: 2022-03-16

Cultivo	Variedad	Edad	Municipio
FORESTALES	GUACIMO	3 Meses	GUAYMARAL
Finca		Lote	
Sin Especificar		Parcela 1 - 0.5 metros	

Elemento	Unidades	Valor	Clave	Parámetro	Unidades	Valor	Clave	Claves de Interpretación	
Potasio	meq/100cc	1.36	E	pH		6.25	M	Orden No.	73832
Calcio	meq/100cc	11.20	A	C. E.	mS/cm	0.23	M	Excesivo	E
Magnesio	meq/100cc	3.45	A	Arena %	%	5		Alto	A
Sodio	meq/L	0.18	D	Limo %	%	74		Medio	M
Aluminio	meq/100cc	N.A	B	Arcilla %	%	21		Bajo	B
C.I.C.	meq/100g	18.35	M	Textura	Franco-Limosa			Deficiente	D
Cloruros	meq/L	0.15		M.Orgánica	%	2.55		Muestra Insuficiente	M.I.
Fósforo	ppm	154	E	C.O.	%	1.48	M	No Detectable	N.D.
N-NH4	ppm	35	A	N- Total			N.A	No Analizado	N.A.
N-NO3	ppm	30	M	Rel C/N			N.A		
Azufre	ppm	1	D	Sat Humedad	%	37	B		
Hierro	ppm	157	B	SatBases:	%	100			
Manganeso	ppm	153	A	Densidad Apar.	g/cc	1.14			
Cobre	ppm	0.90	M						
Zinc	ppm	32.00	E						
Boro	ppm	0.24	M						

Ing. Agrónomo

Asistente Técnico

Sin Especificar

Laboratorio y Oficinas: Av Cra. 20 No. 87 - 81 - Bogotá D.C. - Tel: 6222687, 6225567- WhatsApp: 320-4936197 - Web Site: www.drcaideronlabs.com





Somos su mejor alternativa...

ANALISIS DE SUELOS

FAD 2 - Versión 1

Nombre:	Pedro Pablo Zamora Jiménez
Dirección:	Diag 16 Bis A No. 24 Bis - 79
Ciudad:	Valledupar - Cesar

Fecha Análisis	No. Laboratorio
2022-03-30	AS 104787
Fecha Muestreo	Fecha Recepción
2022-03-01	2022-03-16

Cultivo	Variiedad	Edad	Municipio
FORESTALES	GUACIMO	3 Meses	GUAYMARAL CES
Finca		Lote	
Sin Especificar		Parcela 2 - 1 metro	

Elemento	Unidades	Valor	Clave	Parámetro	Unidades	Valor	Clave	Claves de Interpretación	
Potasio	meq/100cc	1.60	E	pH		6.63	A	Orden No.	73832
Calcio	meq/100cc	12.80	A	C. E.	mS/cm	0.37	M	Excesivo	E
Magnesio	meq/100cc	3.76	A	Arena %	%	29		Alto	A
Sodio	meq/L	0.33	B	Limo %	%	54		Medio	M
Aluminio	meq/100cc	N.A	B	Arcilla %	%	17		Bajo	B
C.I.C.	meq/100g	14.92	M	Textura	Franco-Limosa			Deficiente	D
Cloruros	meq/L	0.15		M.Orgánica	%	2.72		Muestra Insuficiente	M.I.
Fósforo	ppm	214	E	C.O.	%	1.58	M	No Detectable	N.D.
N-NH4	ppm	34	A	N- Total			N.A	No Analizado	N.A.
N-NO3	ppm	40	M	Rel C/N			N.A		
Azufre	ppm	1	D	Sat Humedad	%	35	B		
Hierro	ppm	202	M	SatBases:	%	100			
Manganeso	ppm	228	E	Densidad Apar.	g/cc	1.31			
Cobre	ppm	0.90	M						
Zinc	ppm	41.60	E						
Boro	ppm	0.25	M						

Ing. Agrónomo

Asistente Técnico

Sin Especificar

Laboratorio y Oficinas: Av Cra. 20 No. 87 - 81 - Bogotá D.C. - Tel: 6222687, 6225567- WhatsApp: 320-4936197 - Web Site: www.drcaideronlabs.com





Somos su mejor alternativa...

ANÁLISIS DE SUELOS

FAD 2 - Versión 1

Nombre: Pedro Pablo Zamora Jiménez
Dirección: Diag 16 Bis A No. 24 Bis - 79
Ciudad: Valledupar - Cesar

Fecha Análisis: 2022-03-30
No. Laboratorio: AS 104788
Fecha Muestreo: 2022-03-01
Fecha Recepción: 2022-03-16

Cultivo	Variedad	Edad	Municipio
LEGUMINOSAS	CARDAMINOPSIS ARENOSA	3 Meses	GUAYMARAL CES
Finca		Lote	
Sin Especificar		Parcela 3 - 0.5 metros	

Elemento	Unidades	Valor	Clave	Parámetro	Unidades	Valor	Clave	Claves de Interpretación	
Potasio	meq/100cc	1.54	A	pH		6.59	M	Orden No.	73832
Calcio	meq/100cc	12.10	M	C. E.	mS/cm	0.92	B	Excesivo	E
Magnesio	meq/100cc	3.53	M	Arena %	%	10		Alto	A
Sodio	meq/L	0.83	M	Limo %	%	72		Medio	M
Aluminio	meq/100cc	N.A	B	Arcilla %	%	18		Bajo	B
C.I.C.	meq/100g	16.98	M	Textura	Franco-Limosa			Deficiente	D
Cloruros	meq/L	1.15		M.Orgánica	%	2.58		Muestra Insuficiente	M.I.
Fósforo	ppm	153	M	C.O.	%	1.50	B	No Detectable	N.D.
N-NH4	ppm	38	A	N- Total			N.A	No Analizado	N.A.
N-NO3	ppm	100	M	Rel C/N			N.A		
Azufre	ppm	1	D	Sat Humedad	%	34	M		
Hierro	ppm	188	B	SatBases:	%	100			
Manganeso	ppm	220	E	Densidad Apar.	g/cc	1.27			
Cobre	ppm	0.90	M						
Zinc	ppm	35.00	E						
Boro	ppm	0.27	D						

Ing. Agrónomo
Asistente Técnico
Sin Especificar

Laboratorio y Oficinas: Av Cra. 20 No. 87 - 81 - Bogotá D.C. - Tel: 6222687, 6225567- WhatsApp: 320-4936197 - Web Site: www.drcaideronlabs.com





Somos su mejor alternativa...

ANALISIS DE SUELOS

FAD 2 - Versión 1

Nombre: Pedro Pablo Zamora Jiménez
Dirección: Diag 16 Bis A No. 24 Bis - 79
Ciudad: Valledupar - Cesar

Fecha Análisis: 2022-03-30
No. Laboratorio: AS 104789
Fecha Muestreo: 2022-03-01
Fecha Recepción: 2022-03-16

Cultivo	Variedad	Edad	Municipio
LEGUMINOSAS	CARDAMINOPSIS ARENOSA	3 Meses	GUAYMARAL CES
Finca		Lote	
Sin Especificar		Parcela 4 - 1 metro	

Elemento	Unidades	Valor	Clave	Parámetro	Unidades	Valor	Clave	Claves de Interpretación	
Potasio	meq/100cc	1.44	A	pH		6.39	M	Orden No.	73832
Calcio	meq/100cc	10.90	M	C. E.	mS/cm	0.91	B	Excesivo	E
Magnesio	meq/100cc	3.25	M	Arena %	%	10		Alto	A
Sodio	meq/L	1.05	M	Limo %	%	68		Medio	M
Aluminio	meq/100cc	N.A	B	Arcilla %	%	22		Bajo	B
C.I.C.	meq/100g	18.11	M	Textura		Franco-Limosa		Deficiente	D
Cloruros	meq/L	1.23		M.Orgánica	%	2.51		Muestra Insuficiente	M.I.
Fósforo	ppm	161	A	C.O.	%	1.46	B	No Detectable	N.D.
N-NH4	ppm	22	M	N- Total			N.A	No Analizado	N.A.
N-NO3	ppm	100	M	Rel C/N			N.A		
Azufre	ppm	1	D	Sat Humedad	%	36	M		
Hierro	ppm	182	B	SatBases:	%	100			
Manganeso	ppm	221	E	Densidad Apar.	g/cc	1.25			
Cobre	ppm	0.50	B						
Zinc	ppm	35.40	E						
Boro	ppm	2.49	E						

Ing. Agrónomo
Asistente Técnico
Sin Especificar

Laboratorio y Oficinas: Av Cra. 20 No. 87 - 81 - Bogotá D.C. - Tel: 6222687, 6225567- WhatsApp: 320-4936197 - Web Site: www.drcalderonlabs.com





Somos su mejor alternativa...



ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
CONTROL DE CALIDAD
FOUAR
SUELOS
AGUAS

Identificación del documento
EAD 26 - Versión 1

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

No. Lab: **22011**

++Empresa:	Pedro Pablo Zamora Jiménez	++Fecha Muestreo:	2022-03-01
++Dirección:	Diag 16 Bis A No. 24 Bis - 79	Fecha Recepción:	2022-03-16
++Ciudad:	Valledupar - Cesar	Fecha Análisis:	2022-03-16
++Análisis:	Análisis Microbiológico en Suelo	Fecha Reporte:	2022-03-30
++Identificación:	Parcela 1 - Edad 3,5 Meses - Cultivo de Forestal Guacimo - 0.5 mt	Fecha Emisión:	2022-03-30
Características:	Suelo color café	Orden Trabajo:	73833
++Otros Datos:	Suelo	++Procedencia:	GUAYMARAL
++Finca:	Sin Especificar		

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	POBLACION	METODO ANALITICO
1	Bacterias Mesofilas Aerobias.	35 x 10 E 4 UFC/g	LBC 195
2	Pseudomonas sp.	34 x 10 E 1 UFC/g	LBC 195
3	Levaduras	8 x 10 E 2 UFC/g	LBC 195
4	Penicillium sp.	2 x 10 E 5 UFC/g	LBC 195
5	Aspergillus sp.	3 x 10 E 5 UFC/g	LBC 195
6	Mucor sp.	2 x 10 E 4 UFC/g	LBC 195

OBSERVACIONES: No se evidenció crecimiento de Hongos Fitopatógenos.

Prohíbe la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia. La información identificada con ++ corresponde a información suministrada por el cliente de la cual laboratorios Dr. Calderón Labs no se hace responsable ya que puede afectar la validez de los resultados!





Anexo 2: Caracterización fisicoquímica y microbiológica antes de la siembra



ANÁLISIS DE SUELOS

FAD 2 - Versión 1

Nombre: Pedro Pablo Zamora Jiménez	Fecha Análisis: 2021-12-07	No. Laboratorio: AS 103054
Dirección: Diag 16 Bis A No. 24 Bis - 79	Fecha Muestreo: 2021-11-14	Fecha Recepción: 2021-11-24
Ciudad: Valledupar - Cesar		

Cultivo: FORESTALES	Variedad: GUACIMO	Edad: 0 Presiembra	Municipio: GUAYMARAL BOL
Finca: Sin Especificar		Lote: Sin Especificar	

Elemento	Unidades	Valor	Clave	Parámetro	Unidades	Valor	Clave
Potasio	meq/100cc	1.18	E	pH		6.19	M
Calcio	meq/100cc	7.83	A	C. E.	mS/cm	0.49	M
Magnesio	meq/100cc	2.98	A	Arena %	%	22	
Sodio	meq/L	0.52	M	Limo %	%	60	
Aluminio	meq/100cc	N.A	B	Arcilla %	%	18	
C.I.C.	meq/100g	16.20	M	Textura		Franco-Limosa	
Cloruros	meq/L	0.34		M.Orgánica	%	3.00	
Fósforo	ppm	77	A	C.O.	%	1.74	M
N-NH4	ppm	10	M	N- Total			N.A
N-NO3	ppm	40	M	Rel C/N			N.A
Azúfre	ppm	1	D	Sat Humedad	%	35	B
Hierro	ppm	86	B	SatBases:	%	100	
Manganeso	ppm	152	A	Densidad Apar.	g/cc	1.40	
Cobre	ppm	0.10	D				
Zinc	ppm	6.50	A				
Boro	ppm	0.41	M				

Claves de Interpretación	
Orden No.	72784
Excesivo	E
Alto	A
Medio	M
Bajo	B
Deficiente	D
Muestra Insuficiente	M.I.
No Detectable	N.D.
No Analizado	N.A.

Ing. Agrónomo

Asistente Técnico

Sin Especificar

Laboratorio y Oficinas: Av Cra. 20 No. 87 - 81 - Bogotá D.C. - Tel: 6222687, 6225567- WhatsApp: 320-4936197 - Web Site: www.drcalderonlabs.com





Somos su mejor alternativa...



ASISTENCIA TÉCNICA AGRICOLA
CONTROL DE CALIDAD
FOIJAR
SUELOS
AGUAS

Identificación del documento
FAD 26 - Versión 1

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

No. Lab: 21514

++Empresa:	Pedro Pablo Zamora Jiménez	++Fecha Muestra:	2021-11-14
++Dirección:	Diag 16 Bis A No. 24 Bis - 79	Fecha Recepción:	2021-11-24
++Ciudad:	Valledupar - Cesar	Fecha Análisis:	2021-11-24
++Análisis:	Análisis Microbiológico en Suelo	Fecha Reporte:	2021-12-07
++Identificación:	Suelo - Cultivo de Forestales Guacimo - Leguminosas Cardaminopsis Arenosa	Fecha Emisión:	2021-12-09
Características:	Suelo color café	Orden Trabajo:	72783
++Otros Datos:	Presiembra - Densidad: Cada Cultivo de 2 Parcelas de 3x3 Sembradas a 1 metro y 0.5 Metros de Distancia	++Procedencia:	GUAYMARAL

RESULTADOS DEL ANALISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	POBLACION	METODO ANALITICO
1	Bacterias Mesofilas Aerobias.	13 x 10 E 6 UFC/g	LBC 195
2	Pseudomonas sp.	85 x 10 E 4 UFC/g	LBC 195
3	Levaduras	5 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
4	Penicillium sp.	3 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
5	Aspergillus sp.	3 x 10 E 3 UFC/g	LBC 195
6	Mucor sp.	5 x 10 E 2 UFC/g	LBC 195

OBSERVACIONES: No se evidenció crecimiento de Hongos Fitopatógenos.

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia. La información identificada con ++ corresponde a información suministrada por el cliente de la cual laboratorio Dr. Calderón Labs no se hace responsable ya que puede afectar la validez de los resultados!



Lugar de Ensayo: Laboratorios Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.

Pag. 1/1
Fin del informe.

