

**Revisión de alternativas de biorremediación en suelos degradados por cultivos de caña de
azúcar (*saccharum officinarum*) en el Valle del Cauca**

Isabella Sarmiento León

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente - ECAPMA

Programa Ingeniería Ambiental

Valle del Cauca

2022

Revisión de alternativas de biorremediación en suelos degradados por cultivos de Caña de azúcar (*saccharum officinarum*) en el Valle del Cauca

Isabella Sarmiento León

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental

Director(a)

Luisa Fernanda Calderón Vallejo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente - ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Valle del Cauca

2022

Página de Aceptación

Luisa Fernanda Calderón Vallejo

Director Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Resumen

Esta monografía tiene como objetivo revisar las alternativas de biorremediación para suelos degradados por monocultivos como la caña de azúcar. Se realizó un estudio para demostrar que las técnicas de la biorremediación pueden ayudar a mejorar las condiciones terrestres, disminuyendo así la degradación en los suelos. No obstante, el cultivo de caña de azúcar es uno de los más contaminantes; afecta el suelo y los cultivos circundantes debido al uso de plaguicidas, además del uso constante de maquinaria que resulta ser dañino para la capa terrestre. Otro factor que resulta ser de los más contaminantes es la quema de caña de azúcar antes de ser cosechada. Dicho esto, es posible decir que en esta monografía se exponen las consecuencias que sufre el suelo y el medioambiente debido a las dinámicas asociadas al cultivo de la caña de azúcar. Además, da a conocer algunas soluciones para disminuir la degradación del suelo y para mitigar la contaminación ambiental generada por la quema del cultivo de la caña de azúcar. Así mismo, presenta un modelo de biorremediación artificial que ha sido usado en otros países para disminuir el daño ocasionado por la cosecha de caña de azúcar.

Palabras claves: Caña de azúcar, degradación de los suelos, biorremediación, contaminación.

Abstract

This monograph aims to review bioremediation alternatives for soils degraded by monocultures such as sugar cane. A study was carried out to demonstrate that bioremediation techniques can help to improve terrestrial conditions, thus reducing soil degradation. However, the cultivation of sugar cane is one of the most polluting; thus affecting the soil and the surrounding crops due to the use of pesticides, in addition to the constant use of machinery that turns out to be harmful to the earth's layer. Another factor that turns out to be one of the most polluting is the burning of sugar cane before it is harvested. Taking into account the aforementioned, is possible to say that this monograph exposes the consequences suffered by the soil and the environment due to the dynamics associated with the cultivation of sugar cane. Also, discloses some solutions to reduce soil degradation and to mitigate environmental pollution generated by the burning of sugarcane cultivation. Furthermore, it presents an artificial bioremediation model that has been used in other countries to reduce the damage caused by the sugarcane harvest.

Key words: Sugar cane, soil degradation, bioremediation, contamination.

Tabla de contenido

Introducción	8
Objetivos	11
Generalidades	12
Planteamiento del problema	18
Formulación hipótesis	20
Justificación	21
Fundamentación histórica	24
Descripción socioambiental del suelo en el valle del cauca	26
Historia de la caña de azúcar	27
Diferencias entre el cultivo de caña de azúcar en colombia y el cultivo de caña de azúcar en china	31
Calidad del suelo	34
Historia de la degradación del suelo en el valle del cauca	38
Compactación de suelos como variable de la degradación	39
Factores determinantes en la degradacion de un suelo	40
Metodología	46
Área de estudio	47
Búsqueda artículos relacionados	50
Resultados y análisis	52
Clasificación de tecnologías de remediación	55
Conclusiones	60
Recomendaciones	62
Referencias	63
Anexos	72

Tabla de figuras

figura 1 mapa valle del cauca.....	24
figura 2. Historia de la caña de azúcar	28
figura 3. producción de caña de azúcar a nivel mundial	31
figura 4 características químicas	36
figura 5 funciones usadas para evaluar la degradación del suelo	38
figura 6 micorrizas.....	45
figura 7. método de investigación	46
figura 8. Sector azucarero colombiano	48
figura 9. Artículos relacionados	51
figura 10. Áreas cultivadas	53
figura 11. aumento de cultivos 1915 a 2013	54
figura 12. Tecnologías in situ, ex situ	55
figura 13. Tipos de tratamiento	56

Introducción

La degradación de los suelos es una problemática a nivel mundial que afecta la calidad de vida y seguridad alimentaria de todos los seres vivos. De acuerdo con el estudio sobre de la labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (Gómez-Calderón et al., 2018), la erosión es uno de los mayores procesos de degradación derivados de las labores agrícolas, lo que puede afectar la calidad de infiltración, la capacidad de retención del agua, disponibilidad de nutrientes, contenido de materia orgánica, actividad biológica, profundidad efectiva del suelo y su productividad. Así mismo el rápido crecimiento de la población mundial y la demanda de comida y agua provoca mayores influencias del hombre sobre el suelo. Actualmente hay un 25% de las tierras a nivel mundial que se encuentran afectadas por diferentes niveles de degradación en suelos, afectando a unos 2600 millones de personas equivalente a un 40% de la población mundial. Esto ha provocado que en los últimos 50 años unos 305 millones de hectáreas, 2.3% del total de las tierras y el 21% de las tierras agrícolas hayan perdido completamente su capacidad productiva y de control ambiental (Sentís, 2010).

Según Torres et al. (2017), la degradación de suelos es una problemática presente en Colombia por las diferentes practicas agropecuarias, las cuales traen como consecuencia la compactación del suelo. Finagro (2014), en su artículo Perspectiva del sector agropecuario Colombiano, menciona que para el 2020 estima que el área cultivable se haya expandido entre 5,8 y 6,3 millones de hectáreas. En lo que respecta a los cultivos permanentes, en 2012 se presentó un crecimiento del 4%, lo que implicó un aumento de 612.417 toneladas. De este aumento, un 42% correspondió a caña de panela, un 41% a frutales y un 33% a plátano.

Los suelos en el Valle del Cauca se caracterizan por poseer una alta fertilidad natural que junto al relieve plano y el clima cálido han permitido en esta zona el desarrollo de un 60% de la agroindustria azucarera, cabe resaltar que el uso intensivo de los suelos y las constantes prácticas de labores agrícolas han ocasionado degradación física reflejados en la estabilidad estructural.

Las características de este tipo de cultivo son los grandes volúmenes de un solo alimento a bajo costo, los monocultivos pueden tener grandes cantidades de químicos tóxicos, al tratarse de una sola especie vegetal tiende a deteriorar el suelo.

Teniendo en cuenta la situación presentada a causa del cultivo de caña de azúcar es necesario analizar correctamente esta problemática con el fin de reconocer todas las causas que pueden llevar a la degradación de un suelo, entre ellas está la extensión agrícola que ocasiona el empobrecimiento del suelo, producido por la sobre explotación de los nutrientes. La problemática ambiental se produce cuando no se brinda un uso adecuado al ecosistema, en especial a los suelos. Por lo que es necesario conocer los tipos de técnicas de biorremediación que son utilizadas en Colombia para suelos degradados a causa de los monocultivos como por ejemplo la caña de azúcar. Por otra parte, que factores socioeconómicos están involucrados en la utilización de las tierras para cultivos extensivos. El presente documento pretende realizar un análisis teórico del impacto que tiene la degradación en los suelos y los métodos que ofrece la biotecnología en cultivos sobreexplotados, basado en estudios llevados a cabo a nivel nacional e internacional. Aunque el estudio es realizado a nivel teórico se espera ayude a llenar un vacío que existe sobre la temática en el país y sea un principio para motivar el desarrollo de estudios en campo. En la primera parte se inicia con la descripción de las metodologías que se han

llegado a utilizar, posteriormente se presenta la historia del monocultivo de la caña de azúcar seguido de las estrategias de prevención y solución empleadas actualmente a nivel nacional e internacional.

Objetivos

Objetivo general

Describir técnicas de biorremediación potencialmente aplicables en suelos degradados por cultivos de caña de azúcar.

Objetivos específicos

Revisar estudios de biorremediación en suelos degradados.

Reconocer prácticas de remediación aplicables en suelos degradados por monocultivos como la caña de azúcar

Distinguir las técnicas de remediación convencionales y las no convencionales y sus principales características.

Generalidades

Estado del arte

Según Jiménez Ballesta (2017), el término degradación es un proceso por el cual se disminuye la capacidad actual y potencial del suelo para producir una regeneración, la velocidad de regeneración es muy lenta, por el contrario, la degradación es un proceso que va rápido. En este punto se debe definir los tipos de degradación como la degradación potencial aquella que se produce en el supuesto de continuar las condiciones existentes, en cambio, la degradación actual se refiere al estado vigente en relación con tipos particulares de degradación. La contaminación del suelo es el resultado de una degradación química que conlleva la pérdida de productividad, ya que el suelo al recibir concentraciones tóxicas que superan su autodepuración conllevan a un desequilibrio y deterioro del suelo, lo que ocasiona compactación, erosión, pérdida de fertilidad y pérdida de materia orgánica, lo que disminuye la macro y microfauna y cambia las características del suelo.

En la actualidad, el tema de la contaminación y eventual degradación de suelos se reconoce a nivel global y por diferentes factores, pero existen técnicas que buscan mejorar a largo plazo las consecuencias de los malos manejos, muchos de los cuales van enfocados a contaminación por metales pesados como el cadmio y plomo; algunas de estas técnicas utilizadas tienen la facultad de acumular y tolerar altas concentraciones de metales, eliminando contaminantes que persisten en el medio ambiente. A continuación,

se presentan las siguientes experiencias utilizadas en algunos casos donde la degradación tiene varios factores y se trató de mejorar las características del suelo.

En Colombia se han llevado a cabo algunos estudios sobre el uso de tecnologías, como técnica de remediación para suelos degradados, ejemplo, en el río Atrato donde se hicieron estudios sobre la utilización de Bio-preparados para la remediación de suelos utilizados en minería a cielo abierto, se pudo determinar que los suelos asociados con el reino fungí tienen una gran contribución a la restauración de los suelos (Mosquera.,2021).

De otro lado se ha estudiado la biorremediación aeróbica utilizando lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo (Martínez et al., 2011).

Para esta investigación se realizaron experimentos a escala de laboratorio y piloto, ajustados a capacidad de campo y a una relación carbono: nitrógeno (C: N) = 10:1, en los cuales se evaluó el efecto de la adición de nutrientes, la densidad del material a remediar y la influencia del tamaño de la partícula en el proceso de degradación. Se demostró que los lodos residuales propiciaron la estimulación de los microorganismos nativos del suelo y estos últimos a su vez fueron los responsables de degradar los hidrocarburos. Estos últimos fueron empleados como fuente de carbono y de donador de electrones, acoplando la reacción de óxido-reducción con el oxígeno que fungió como aceptor de electrones. El suelo sometido a remediación aeróbica alcanzó el límite máximo permisible (LMP) establecido en la normatividad mexicana vigente (NOM-138-SEMARNAT/SS-2003) en los experimentos realizados a ambas escalas y se propone

como alternativa para que la empresa minera cumpla con el programa Industria Limpia, al que está adscrita de manera voluntaria (Martínez et al., 2011).

Según Mantecón (2018), la biotecnología ambiental está íntimamente ligada a la ecología, especialmente la ecología microbiana, la cual aporta las bases científicas de muchos de los procesos que se desarrollan en la biotecnología ambiental, y a la inversa, la resolución de los problemas ambientales mediante la biotecnología aporta importantes avances en procesos, nuevas especies, y métodos para los ecólogos microbianos. La mayor parte de la biotecnología ambiental se basa en la gestión de los residuos y de la contaminación, evitándola o reduciéndola, intentando recuperar los hábitats contaminados.

Acosta y Hernández (2016) mencionan que ocupaciones como la agricultura, han aumentado los últimos años el número de suelos dañados por la utilización de plaguicidas, provocando impactos severos a los recursos acuáticos e inclusive a la salud humana. Frente a esta situación en la actualidad se han desarrollado alternativas para mitigar este efecto y técnicas como la biorremediación resultan una opción económica y posible en la que los microorganismos son la herramienta más fundamental en el proceso de descontaminación, ya que estos realizan uso del contaminante como fuente de energía para su metabolismo, reduciendo la disponibilidad de este en los suelos dañados.

Se ha comprobado que la habilidad de la bio-estimulación o biodegradación aeróbica estimulada es capaz de remover los componentes que limitan la biodegradación de los contaminantes, introduciendo comúnmente nutrientes (nitrógeno, fósforo y

oxígeno) en el área saturada y en el agua subterránea para incrementar el número y la actividad de los microorganismos autóctonos capaces de hacer la biodegradación (Vallejo et al., 2005). Según De la Rosa et al. (2014), una de las metodologías que emplea microorganismos es la utilización de los bio-surfactantes, los cuales son un conjunto de moléculas de procedencia microbiana que se caracterizan por ser anfipáticas, o sea, que sus moléculas muestran 2 piezas diferentes, una hidrofóbica y otra hidrofílica, las cuales son un conjunto estructuralmente diverso de moléculas tensoactivas, que muestran generalmente menor toxicidad y más grande biodegradabilidad que los surfactantes sintéticos. En medio de las aplicaciones más estudiadas de los bio-surfactantes permanecen las relacionadas con la industria del petróleo y la biorremediación de sitios o residuos contaminados con hidrocarburos. Sin embargo, los bio-surfactantes tienen la posibilidad de ser usados para otro tipo de compuestos xenobióticos, como los plaguicidas. Dichos compuestos permiten mantener el control de la proliferación de plagas y patologías de los cultivos y del ganado, así como minimizar o evadir las pérdidas en la producción de alimentos y contribuir al control de los vectores de distintas patologías. La misma metodología se ha utilizado en el estudio de biorremediación por hongos según Hernández-Ruiz et al. (2016). Otra metodología utilizada es la de bio-char, este bio-carbón o bio-char es un producto rico en carbono obtenido por medio de la descomposición térmica de biomasa en ausencia completa o parcial de oxígeno (pirólisis 350-700°C). La temperatura representa un elevado efecto en la morfología del área y composición de los productos firmes de pirólisis, el volumen total de poros ascenderá con el crecimiento de la temperatura. La aplicación de bio-char en suelos contaminados puede no solamente apoyar en la adsorción de metales, sino, además, incrementar la retención

de nutrientes fundamentales perfeccionando de esta forma el aumento de plantas por medio de la optimización de las características físicas y biológicas del suelo, tal cual se consigue regular el pH, la lixiviación de nutrientes a las aguas subterráneas y optimización el sistema de nutrientes primordialmente en suelos arenosos (Aquino Zambrano, 2020).

De otro lado, también son empleados los bio-preparados a base de restos de vegetales acompañados con productos minerales o animales y enriquecidos con microorganismos benéficos que contribuyen a minimizar los esfuerzos presentes tanto en el suelo como en los cultivos, aportando a robustecer la optimización de estos, ya que, conforme con la funcionalidad, poseen atributos nutritivos para los cultivos como repelentes, controladores de insectos o curativos de patologías. Además, tienen la posibilidad de explicar como el producto de desegregación o transformación (por medio la actividad de microorganismos), cambia la forma para hacerlos asimilables por las plantas en asocio con las micorrizas por medio de la unión simbiótica. Mosquera Córdoba (2017) en su estudio Eficiencia de Lombricomposta en la Biorremediación de suelos degradados por la minería a cielo abierto en el municipio de Unión Panamericana, departamento del Chocó, Mosquera, evaluó que tan efectiva era la metodología en los diferentes escenarios. Aunque el enfoque del trabajo es puramente bibliográfico se pudo evidenciar que la recuperación de suelos utilizados para cultivos extensivos es poca y limitada, en este caso se quiso hacer referencia a los cultivos extensivos como la caña de azúcar, muchas de estas experiencias tienen que ver con técnicas de biorremediación donde se utilizan agentes biológicos, para la eliminación de diversas toxinas.

En una prueba realizada a nivel de laboratorio en Austria, en plantas de maíz inoculadas con la bacteria *Burkholderia phytofirmans* PsJN en mezcla con lodos de grava, se comprobó que éstas mejoran significativamente la fijación de metales pesados en el suelo, evitando que contaminen el material vegetativo a través de procesos de inmovilización y estabilización (Touceda Gonzalez et al., 2015; Yang, 2016). En la India se investigó la habilidad natural de las bacterias nativas para reducir y desintoxicar de plomo, cadmio y cromo los efluentes industriales de curtiembres depositados en ríos y tierras aledañas a las fábricas. Después de hacer una caracterización bioquímica se encontró que *Micrococcus* sp. y *Hafnia* sp. tienen gran potencial de biorremediación de los citados metales (Marzan et al., 2017).

Los microorganismos cuentan con amplias capacidades metabólicas que utilizan diferentes sustratos para transformarlos en energía utilizando diversas estrategias, lo cual puede afectar su biodisponibilidad, esta facilidad ha permitido que se puedan implementar técnicas de biorremediación que involucren el uso de hongos y bacterias con el fin de reducir la carga contaminante de diversos ambientes.

A nivel nacional e internacional se ha logrado concientizar a las personas encargadas del cultivo y a las organizaciones que están en la obligación de velar por el bienestar del ecosistema y disminuir los daños ocasionados en la capa terrestre debido a los cultivos de caña de azúcar y otras plantas que debido a sus procesos de cultivos ocasionan una degradación en el suelo, generando que se desgaste debido a que no descansa entre las cosechas de caña de azúcar, esta situación genera preocupación en los protectores del ambiente dado que si no se haya una solución pronto, en un futuro cercano el suelo de cultivo será completamente infértil.

Planteamiento del problema

Los suelos usados para el cultivo de caña de azúcar se encuentran deteriorados debido al abuso que se presenta de los químicos como los insecticidas y máquinas requeridos para la cosecha de la caña de azúcar, asimismo, la quema de esta misma que provoca cenizas, las cuales quedan impregnadas en el suelo, cuerpos hídricos y en el aire. La falta de concientización por parte de los cultivadores ha provocado que esta problemática crezca de manera evidente, amenazando con la pérdida total del suelo fértil debido a la degradación.

Las presiones antrópicas que se ejercen sobre los primordiales servicios ecosistémicos del suelo, fundamentales para la vida humana (por ejemplo, la provisión de alimentos, materias primas y materiales genéticos y medicinales), han desencadenado procesos de degradación de los suelos que amenazan la estabilidad ecológica, la estabilidad alimentaria y el desarrollo sustentable de la sociedad. Por consiguiente, es de particular trascendencia llevar a cabo un desempeño sustentable de los suelos que evite que dichos procesos se presenten y pongan en peligro la calidad del recurso.

Algunos estudios como los de Jiménez Ballesta (2017) y Torres et al. (2017), demuestran que la degradación del suelo producida por el cultivo de caña de azúcar tiene impactos negativos sobre este, ya que puede llegar a reducir la porosidad del terreno y su morfología además de la pérdida de macro y micronutrientes esenciales para el buen funcionamiento de la vida. Esto debido a la utilización de maquinaria agraria, ganadería extensiva y al uso continuo de una sola especie vegetal. Lo que consume los nutrientes de

un suelo y al no dejarse este descansar, tiende a erosionarse y compactarse; en la agricultura la compactación de un suelo puede ocasionar reducción del intercambio de CO₂ y O₂, reduce la permeabilidad de los suelos y en épocas de lluvia puede producir anegamiento y aumenta las emisiones de gases efecto invernadero, entre otras.

Adicionalmente, el proceso de la caña de azúcar puede involucrar la quema de esta, lo cual ocasiona que los restos de cenizas queden en el aire, lleguen a los suelos y ríos generando impactos ambientales de connotación negativa.

Entre las técnicas de biorremediación para recuperación de suelos erosionados por causa de monocultivos se ha estudiado el uso de biotecnología, destacándose la fitorremediación que es la utilización de especies vegetales y microorganismos para la descomposición de agentes orgánicos e inorgánicos.

Todo lo anteriormente mencionado hace plantear la siguiente pregunta de investigación ¿Qué técnicas de biorremediación existen para suelos degradados por monocultivos como la caña de azúcar?. A lo largo el documento se presentará el contexto y dará respuesta a la pregunta, basados en la información consultada para la elaboración de la presente monografía.

Formulación hipótesis

Para la presente monografía se planteó la siguiente hipótesis.

Los métodos de biorremediación existentes mitigan el daño ocasionado a los suelos utilizados en monocultivos como la caña de azúcar .

Justificación

La degradación tiene varias causas, entre esas la expansión agrícola y el cultivo extensivo, según Soto (2020), un artículo de, la deforestación es la pérdida de bosques y selvas debido al impacto de las actividades humanas o de los desastres naturales.

Según Carbonell (2013), en su revista Carta informativa, artículo Estudio descarta que la caña afecte los suelos, se manifiesta que los cultivos de caña de azúcar no producen erosión al suelo si se les da un manejo agronómico adecuado. Según Carbonell (2011), se encontró que en el año 2011, había unas 225.000 hectáreas sembradas con cultivos de caña de azúcar. El periodo de producción de la caña de azúcar va de 14 a 17 meses tiempo en el cual no se le brinda un descanso al terreno, a esto se suma el uso de agroquímicos y glifosato que aceleran la destrucción del suelo y produce una contaminación en las fuentes hídricas.

Según Orjuela (2010), en muchas regiones del Valle del Cauca la degradación de los suelos ha sido causada por procesos naturales, actividades humanas y en muchas otras ha sido la combinación de ambos. La degradación va desde la disminución de las especies nativas o pérdida de la capacidad de regeneración, hasta la acelerada deforestación para siembra de estupefacientes, pastizales y cultivos. Entre los factores negativos están la alteración de la hidrología regional y el clima con consecuencias de diversa magnitud como lo son los vendavales, crecientes, avenidas y deposición de materiales

Según Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2013), las entidades gubernamentales en el país tienen estrategias para la gestión integral del recurso que

buscan promover la conservación del suelo en Colombia, en las dimensiones social, ecológica, económica y política; en lo ambiental, en un contexto en el que confluyen la conservación de la biodiversidad y la calidad del agua y del aire, el ordenamiento del territorio y la gestión de riesgo, con el propósito de garantizar la seguridad, autonomía y soberanía alimentarias del país, una economía sostenible y el bienestar de los colombianos.

En el suelo existen una alta diversidad de micro y macroorganismos que ayudan a sustentar las demás formas de vida en el planeta y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, entre los servicios ofrecidos por el ecosistema terrestre se encuentran la retención de nutrientes para las plantas, mantenimiento de la fertilidad, la provisión de agua y la remoción de contaminantes (Orjuela, 2010).

Según Castebianco (2018), en el entorno en el que vivimos existen diversas técnicas que buscan remediar los efectos (Rojas, 2003) de ciertos contaminantes como los metales pesados. Esta situación ha permitido que se puedan implementar en algunos casos técnicas de biorremediación las cuales utilizan hongos y bacterias con el fin de reducir la carga contaminante en el ambiente. Algunas de estas conocidas como la utilización de micorrizas orbiculares son un tipo de asociación simbiótica entre un hongo y una raíz los cuales actúan como órganos de intercambio de nutrientes entre la célula vegetal y el huésped. No obstante, la simbiosis micorrícica arbuscular es una de las asociaciones más antiguas, su aparición no se encuentra bien definida en el tiempo, el interés sobre esta simbiosis es por su capacidad de la captación del fósforo (Gómez et al., 2007).

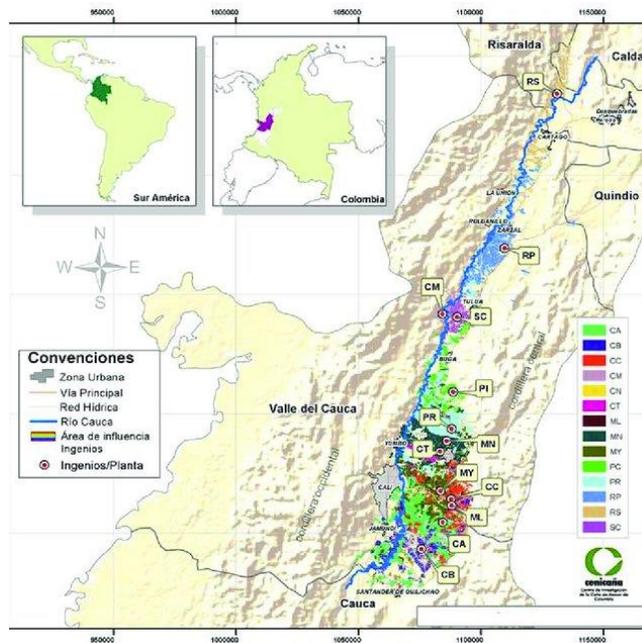
En el estudio de Mosquera (2021), unas 5000 especies de hongos están asociados a los árboles frutales y casi que la totalidad de plantas verdes, las micorrizas brindan mayor estabilidad, permiten la agregación de las partículas del suelo, evitan la erosión, modifican las poblaciones de microbiotas benéficas y patogénicas presentes en el suelo, influyen en la dinámica del carbono orgánico del suelo y además influyen mucho en la fertilidad del suelo.

Fundamentación histórica.

características de los suelos

Según Carbonell, (2011). Los suelos del valle se identifican por tener un pH casi neutro, con contenidos de materia orgánica variable y conductividad baja, dichos suelos poseen una capacidad media de trueque catiónico la cual influye en el almacenamiento de nutrientes para las plantas y la retención de contaminantes lo que beneficia una menor lixiviación de diferentes agroquímicos y plaguicidas aplicados en el suelo relacionados con los microelementos –fósforo, hierro, zinc, cobre y boro–, estos microelementos se encontraron en concentraciones medias, por lo que se necesita integrarlos en dosis bajas.

figura 1 mapa valle del cauca



Fuente: García (2018).

En la Ilustración 1 se puede observar el mapa del valle del Cauca y donde se encuentra mayor presencia de cultivos de caña de azúcar.

Según (Martínez y Prado, 2011; Sentís, 2010), en cuanto a las características físicas, en ciertos suelos la conductividad eléctrica y la porosidad se identificaron como bajas, lo que puede provocar inconvenientes de drenaje y compactación del suelo.

Por otro lado entre los estudios que se han llevado a cabo para determinar las propiedades del suelo a grado de subgrupo taxonómico se encuentran diferencias en el tamaño de los perfiles espectrales, así como en sus longitudes de onda a los 1.400, 1.900 y 2.200 nm, lo que posibilita caracterizar de forma objetiva las concentraciones de minerales arcillosos de cada suelo desde su perfil espectral (Bastidas y Carbonell, 2010; González et al., 2006). Para efectos de esta zonificación agroecológica la caracterización de suelos se ha hecho con base en el análisis semi detallado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el que las unidades de más grande detalle son los conjuntos y las consolidaciones de suelos

Así mismo, Carbonell (2011), en la zonificación agroecológica tiene en cuenta como factor de agrupación la zonificación climática como balance hídrico y resultados del estudio detallado en cuanto al drenaje natural (permeabilidad del suelo) la pendiente topográfica y la presencia de signos de mal drenaje (moteados y gleysados) y su profundidad.

Descripción socioambiental del suelo en el valle del cauca.

En el libro Ciencias del suelo, principios básicos escrito de Morales (2010), se menciona que en el valle geográfico del río Cauca se produjeron cambios tanto económicos como políticos en las primeras décadas del siglo XIX, estas se debieron a la caída de la economía minera y a las guerras civiles que empeoraron a la economía hacendaria.

Debido a esto a comienzos del siglo XX los ingenios azucareros del Valle empezaron a ofrecer grandes rentas por el alquiler de tierras que antes eran utilizadas para cultivos temporales de corta duración lo que desplazó a estos empresarios individuales, la presión social que ejercían los ingenios en estas tierras lograron que los hacendarios se independizarán y pasarán a ser empresarios productores de caña de azúcar.

Historia de la caña de azúcar

Osorio (2019) hace una descripción de la historia que tiene la caña de azúcar desde la siembra a gran escala de la sacarosa y su producción industrial, el latifundio que apoya su permanencia en el tiempo y el sentido socioambiental en el cual deviene como enorme plantación, son componentes y recursos que realizan parte de lo cual se sabe en Colombia como “el problema de la cuestión agraria”, la propiedad de la tierra deviene en una suerte de elementos generadores de diversos componentes como lo son la violencia, disputas y peleas; así como procesos de resistencia. De sociedades subordinadas — indígenas, afro y campesinos— frente a actividades de ocupación, extranjerización y concentración por despojo, o por dinámicas económicas y componentes políticos que avalan hoy la existencia hegemónica del monocultivo de la señalada gramínea.

Es fundamental señalar que los ingenios Río Paila Castilla o Manuelita, han colonizado además la altillanura de Colombia en los tiempos actuales, extendiendo y diversificando su comercio, en ecosistemas en especial frágiles.

En la Ilustración 2 se puede observar la cosecha de caña de azúcar desde los tiempos más remotos, en los cuales existía la esclavitud y los niños eran obligados a trabajar. Desde ese entonces ha existido la exportación y venta de caña de azúcar por todo el mundo.

figura 2. Historia de la caña de azúcar

Fuente: Martínez,. (2020)

Los procesos de poblamiento en Colombia, que a partir de una visión jurisdiccional pertenecieron al estado del enorme Cauca y que pertenecen hoy, en esta fase del Antropoceno, a los departamentos del Valle del Cauca y Cauca, según ciertos historiadores no oficialistas, que narran disímiles conflictos socioambientales enmarcados en interacciones de dominación que proporcionan cuenta de la coexistencia de métodos de producción diversos —minifundio y latifundio—, anclados profundamente a proyectos de vida por igual diferentes, ello no impide advertir la vida de procesos de acumulación por desposesión, los inconvenientes agrarios actuales no tienen la posibilidad de considerarse como heredados del tipo de sociedad que existía en la Colonia, pero si poseen un anclaje histórico en una situación de procedencia política que sigue el origen de la República y la débil acción estatal, mediada y producida en buena medida por el

poder económico de familias y élites que de tiempo en tiempo lograron hacerse con el Estado, en otras palabras, cooptarlo y someterlo a sus propios intereses particulares.

Sobre la propiedad de la tierra, Mora (2019) apunta que: la política sobre la obtención de tierras gubernamentales desde épocas coloniales ha sido poco coherente y en ciertos puntos contradictoria. Entre los intereses contrapuestos de los terratenientes criollos y españoles, y los de la creciente población de blancos pobres y mestizos que carecía de tierras, o la de los nativos que ya se veían amenazados por sus resguardos, explica las vacilaciones y contradicciones de la política la unidad elemental de la agricultura neogranadina del siglo XVIII ha sido la hacienda. La cual ah tenido una trascendencia en el tiempo.

Dentro de la historia de la caña de azúcar y su manejo, Ayala-Osorio (2021) propone un estudio del papel que jugaron los planes de desarrollo entre 1990 y 2019 y como este ha sido un interrogante que orientó el estudio político y discursivo de 11 planes de desarrollo regional. A su vez, los recursos de la Ecología Política que sirvieron para la investigación de los planes de desarrollo que se realizaron a parte de una ecología de tercera generación a partir de la que es viable examinar componentes y actividades de poder. De ahí que se planteó para el estudio de los documentos de política pública departamental o regional, la categoría Inercia Institucional Ambiental Negativa (IIAN) y se identificaron patrones institucionales, actitudinales y comportamentales en la

operación de la agroindustria cañera y esos derivados de la existencia hegemónica del monocultivo de la caña de azúcar.

Diferencias entre el cultivo de caña de azúcar en Colombia y el cultivo de caña de azúcar en China

Es importante señalar que el cultivo de caña de azúcar en Colombia no es tan abundante como en China, esto debido a que China ocupa el tercer puesto a nivel mundial en producción de caña de azúcar.

figura 3. producción de caña de azúcar a nivel mundial

País	Producción ('000 t)	Area ('000 ha)	Rendimiento (t/ha)
Brasil	719,157	9,081	79.1
India	277,750	4,200	66.1
China	111,454	1,695	65.7
Tailandia	68,808	978	70.4
México	50,423	704	71.6
Paquistán	49,373	943	52.4
Filipinas	34,000	363	93.7
Australia	31,457	405	77.6
Argentina	29,000	355	81.7
Indonesia	26,500	420	63.1
EEUU	24,821	355	69.9
Colombia	20,273	172	118.1
Guatemala	18,392	213	86.2
Sudáfrica	16,016	267	60.0
Egipto	15,709	135	116.8
Costa Rica	3,735	56	66.9
Etiopía	2,400	19	126.9
Total mundial	1 686,014	23,832	57.5

Fuente: FAO Statistics, (2010)

Nota Aclaratoria: La producción ('000 t) y Área ('000 ha) corresponde a millones de toneladas y millones de hectáreas respectivamente

En la Ilustración 3 se puede observar una lista con los países donde existe una mayor producción de caña de azúcar, los cuales son 17, en esta lista se puede observar que Colombia se encuentra en el puesto N°12, mientras que China ocupa el puesto N°3 en producción de caña de azúcar.

Según el Ministerio de Comercio de China (2018), este país exporta al mundo subproductos de la azúcar mas no azúcar propiamente dicho. Exporta alrededor de 550 mil toneladas de productos del sector azucarero con un valor de 269 millones de dólares, la mayoría de los cuales tienen como destino países de Asia. Para la época en la que se realizó el informe la producción de caña tuvo un apogeo llegando a tener 51 ingenios en funcionamiento, sin embargo, La República (2022), debido a las heladas presentadas en Guangxi, una importante región productora de azúcar en China, y el cambio de los agricultores a otros cultivos considerados más rentables redujeron las perspectivas de producción de azúcar en el país.

Según Asocaña (2021) en su informe anual, las importaciones de 2020, fueron de 273 mil toneladas de azúcar procedentes de 14 países, lo cual fue un aumento del 9% frente al registro de importaciones de 2019. El 58,8% de estas importaciones fueron de países de la comunidad Andina de naciones con el 0% de aranceles , 38,2% fueron originarias de Brasil, en cambio las exportaciones de Colombia aumentaron un 6,9% en el año 2020 produciendo 748 mil toneladas exportadas , cumpliendo así el 5,0% de las exportaciones de la industria manufacturera . Cabe destacar que dentro del mismo

informe se habla de unas iniciativas de desarrollo sostenible que tuvieron los ingenios suscritos a Asocaña entre los que se pueden destacar 12 módulos de producción sostenible a partir del concepto de huertos tul (huerto casero tradicional), 445 hectáreas de 11 cuencas con dos mantenimientos a herramientas del manejo del paisaje implementadas, siembra de 13.500 arboles de especies nativas en páramos de las hermosas.

Calidad del suelo

La interacción de los microorganismos con la fertilidad del suelo y su calidad son fundamentales para la producción de cualquier cosecha, actualmente dichos componentes biológicos del suelo se han convertido en criterios de trascendencia para apreciar la fertilidad del suelo. En la actualidad, el concepto de “calidad del suelo” se relaciona de manera directa con la productividad, la salud y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

A partir de la perspectiva agronómica la “calidad del suelo” es expresada como “fertilidad” y define la función de un suelo para tolerar sostenidamente plantas sanas y productivas. Las relaciones de las características físicas, químicas, biológicas y climáticas del sistema son las que identifican la fertilidad de los suelos, y los hongos micorrícicos se piensan como componentes clave de esa fertilidad del suelo, bien sea por medio de la propia simbiosis o por su relación con otros microorganismos de la rizosfera. Los hongos formadores de micorrizas orbiculares se consideran como elementos clave de la fertilidad del suelo, bien sea por medio de la propia simbiosis o por su relación con otros microorganismos de la rizosfera, y su sentido agroecológico merece una atención específica (Fernández et al.1998; Jaizme-Vega, 2012; Trujillo-González, (2018); Afanador, (2020)).

Según Díaz Mendoza (2011), en su estudio de Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización “La conducta del ser humano con interacción al mal uso de los suelos tiene efectos negativos sobre este recurso, generando la pérdida de fertilidad y procesos de degradación y desertificación, lo que afecta de manera directa en el decrecimiento y el

deterioro de los recursos hídricos, la erosión y el cambio de las condiciones climáticas hacia condiciones más secas”

Según Núñez (2009), En los últimos 25 años la producción de caña de azúcar en el Valle del Cauca ha aumentado, en el 2009 las áreas cultivadas eran de 208.254 hectáreas, actualmente 241,205 hectáreas sembradas que abarcan 51 municipios, 6 departamentos. El 25% corresponde a tierras propias de los ingenios y el 75% a más de 2.750 cultivadores de caña de azúcar

Según Asocaña (2018), los suelos utilizados para el cultivo de caña de azúcar deben ser bien estructurados y fértiles para garantizar una buena cosecha, entre las características que debe tener son una capa freática por debajo de 1.5 a 2 m es por eso que los suelos del Valle del Cauca se utilizan para este monocultivo entre otras características.

La fertilidad es la manera indirecta de medir la función de producción de los suelos y la forma tradicional de medirla es por medio de la caracterización, la fracción que se extrae de los cultivos para una producción esperada y la eficiencia de absorción de un terreno. El cultivo de caña de azúcar es un ecosistema vivo y complejo compuesto por agua, viento, sustancias sólidas e infinidad de organismos vivos que interactúan activamente. Dichos recursos son necesarios para la producción y existencia de nutrientes, los cuales actúan sobre la condición del suelo. Es decir, de estos recursos depende la nutrición del suelo (Guerrero Rivera, 2020).

figura 4 características químicas

Municipio	No. Muestras	pH	MO (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K Ca Mg Al (cmol.kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	Al
Alcalá	848	5,07	9,34	14,02	0,43	3,41	0,80	0,62
Andalucía	58	5,46	7,37	8,13	0,35	8,77	4,11	0,13
Ans. Nuevo	1069	5,48	8,01	8,95	0,47	7,69	2,13	0,16
Argelia	766	5,71	8,65	10,54	0,54	9,32	2,44	0,09
Bolívar	757	5,79	5,68	10,12	0,43	10,20	2,94	0,02
Buga	286	5,42	9,97	6,61	0,35	7,90	2,49	0,20
B. La grande	638	5,39	6,13	7,17	0,29	9,18	3,78	0,21
Caicedonia	3111	5,31	6,85	11,99	0,41	6,32	1,84	0,38
Cali	338	4,97	9,61	9,45	0,33	5,55	2,65	1,01
Cartago	282	5,35	6,12	6,73	0,37	7,39	3,33	0,31
Dagua	698	5,46	7,09	8,23	0,43	8,15	3,32	0,19

Fuente: Patiño Gonzales (2006)

En la Ilustración 4 se exponen los datos obtenidos de fuentes confiables, en los cuales se observan los municipios donde existe una mayor producción de caña de azúcar, además se añaden las características químicas del suelo, cabe resaltar que estos datos fueron los únicos encontrados en la indagación.

Según los análisis descriptivos los suelos del departamento del Valle del Cauca presentaron contenidos medios de materia orgánica y potasio, bajos en fosforo con niveles de pH adecuados.

De acuerdo con lo expuesto por Hofmann (1960), los suelos y su capacidad para retener agua se incrementa a medida que se alejan del cauce del río y decrece a medida que se va acercando a la montaña. De igual forma propone que los suelos del Valle deben tener mejoras en las prácticas de irrigación, abonos verdes y enclado de suelos.

En la tesis de Osorio (2019), El monocultivo como experiencia agrícola, es una acción económicamente rentable para unos pocos, y por eso viable y que trasciende en el

tiempo, a pesar de los constantes llamados a que se cambie la presencia del cultivo de la caña; en cuanto a lo social, el monocultivo en la medida en que genera y agrava los conflictos sociales y múltiples procesos de resistencia en comunidades afro, campesinas e indígenas. Desde una perspectiva ambiental, esa misma práctica y experiencia agrícola resulta evidentemente no ecosistémica, ya que el mismo monocultivo sucede con un carácter artificial que le impide dialogar con ecosistemas que se han mantenido en el tiempo; dadas las grandes extensiones de los sembrados de caña dicho intercambio orgánico es difícil de evaluar. Es decir, los intercambios biológicos que de forma natural se dan entre ecosistemas, como el tránsito de especies e intercambios energéticos ecosistémicos, se ven interrumpidos abruptamente por la presencia casi que total del territorio de la señalada gramínea. El deseo de aumentar la producción de cultivo de caña de azúcar genera que los cultivadores se olviden de brindar un trato adecuado a la capa terrestre y de disminuir el uso de insecticidas.

Historia de la degradación del suelo en el valle del cauca

Según Sicard (2014), la degradación de tierras puede entenderse como la acción de un grupo de componentes tanto de índole biofísico como antrópico, que desencadenan procesos de variación de cualidades y propiedades de la tierra, entendiendo en este criterio, al grupo de suelos, coberturas vegetales, fauna vinculada y dotaciones de agua que hay en determinados paisajes fisiográficos. El Valle del Cauca se compone de 2,2 millones de hectáreas de las cuales 400.000 presentan erosión por desgaste del suelo provocado por minería artesanal, monocultivos y deforestación entre otras.

figura 5funciones usadas para evaluar la degradación del suelo

FUNCIONES	NIVELES DE DEGRADACIÓN DEL SUELO			
	Ligero	Moderado	Severo	Extremo
Cobertura vegetal	Áreas descubiertas entre el 10 al 25%.	Áreas descubiertas entre el 25 y 50%.	Áreas descubiertas entre el 50 al 75%.	Áreas descubiertas que superan el 75%.
Función biótica	Anidamiento, refugio y reparación de macroorganismos.	Anidamiento, refugio y reparación de micro y mesoorganismos.	Actividad de la biota pionera y oportunista.	Solo presencia de la biota pionera más simple.
Rehabilitación potencial	Acciones de aislamiento y favorecimiento de coberturas nativas con resultados a corto plazo.	Acciones de aislamiento y favorecimiento de coberturas nativas con resultados a mediano plazo.	Aislamiento, requerimiento ingenieril y bioingenieril, con resultados a largo plazo.	Impactos causados son de carácter lentamente reversible.
Capacidad de uso	Agricultura tradicional con restricciones y pastos.	Agricultura de subsistencia con prácticas ligeras de manejo (conservación + nutrición).	Bosque protector y si se presenta las condiciones bosque protector productor.	Usos de conservación.

Fuente: Cantero et al. (2015).

La metodología que utilizan en el artículo de Cantero et al. (2015) habla sobre la determinación de la degradación de suelos a causa de la minería aurífera aluvial, basada en el método GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation) que determina la degradación por movimiento; Erosión hídrica con pérdida del suelo superficial, formación de cárcavas o deformación del lote, azolves o sedimentaciones.

Compactación de suelos como variable de la degradación

La compactación del suelo puede tener impactos positivos, por ejemplo, al incrementar la función de agua disponible en la planta de los suelos arenosos o al minimizar la lixiviación de nitratos. No obstante, constantemente se ha encontrado que la compactación del suelo tiene efectos nocivos sobre muchas características del suelo importantes para su trabajo.

Muchos estudios han encontrado que la compactación modifica el reparto del tamaño de poro de los suelos minerales, primordialmente al minimizar la porosidad y especialmente la microporosidad (diámetro > 30 μm , por ejemplo), además del volumen y número de macro-poros, la compactación además modifica la geometría de los poros, la continuidad y la morfología, lo cual es primordial debido a que en el suelo húmedo se produce un desplazamiento veloz del agua y el viento en los microporos seguidos. En la agricultura, la compactación del suelo suele ir acompañada de deformación, de la compresión, por el desplazamiento lateral que se crea a lo largo de las operaciones de campo y el pisoteo de los animales. Por consiguiente, la compactación del suelo crea una disminución en la porosidad y además causa cambios no volumétricos en la composición del suelo (Torres et al. 2017).

Factores determinantes en la degradación de un suelo

Cambio climático

Lau et al. (2011) refieren que el aumento de la temperatura para el 2050, irá incrementándose aproximadamente a 2.5 °C, alcanzando un mayor de 2.7 °C en el departamento de Arauca y un mínimo de 2 °C en los departamentos de Choco y Nariño, en el Valle del Cauca también se presentará un aumento de temperatura de 2°C. El impacto en la agricultura probablemente va a ser severo en las zonas o cultivos que experimenten aumentos de temperatura superiores a los 2.5 °C.

Las temperaturas más altas vendrán acompañadas del descongelamiento de glaciares en los Andes (que quizás habrán desaparecido para el 2030) y la desaparición de páramos relevantes (quizás el 56% no existan para el 2050) ecosistemas que hoy son fuente fundamental de agua. Entretanto, la variabilidad de la precipitación anual seguirá siendo asunto de inquietud en todo el territorio; por consiguiente, va a ser fundamental el almacenamiento de agua.

Los cambios en los patrones de precipitación tienen la posibilidad de cambiar las fechas de floración; influir los componentes bióticos (plagas, patologías, malezas) en diferentes sistemas de producción, con el consecuente aumento de los precios de producción; y perturbar la disponibilidad de agua en el suelo. Las lluvias intensas tienen la posibilidad de ocasionar inundaciones, erosión del suelo y monumentales pérdidas de cultivos. Este caso se puede ver exacerbada en la costa Pacífica, donde una elevación del grado del océano puede provocar inundaciones y salinización de los suelos. Esto debido a

que los cambios afectan en el proceso de crecimiento de los cultivos, esto significa que el cultivo de caña de azúcar se verá afectado de manera drástica.

La prevalencia de plagas y patologías ya se ha incrementado, y es posible que el caso empeore con la agudización del cambio climático. Los cultivos en la actualidad dañados incluyen las musáceas (bananos, plátanos) en áreas por arriba de los 500 msnm, el café en áreas por arriba de los 1500 msnm, la papa en áreas por abajo de los 2500 msnm, así como el cacao, el maíz y la yuca. La intensificación del control químico puede representar elevados precios económicos para los pequeños productores y costos a largo plazo para el agroecosistema.

Transformación de la biodiversidad

En la producción agrícola, los cultivos como el arroz, la caña de azúcar, la soya, la papa, el maíz, entre otros, poseen el potencial de crear impactos negativos en la diversidad biológica, y los sistemas agrícolas que se guían por fronteras de sostenibilidad ambiental han demostrado crear impactos positivos en la diversidad biológica (Pérez y Castro, 2012).

Deforestación en Colombia

La deforestación tiene impactos bastante negativos sobre el territorio y su riesgo natural (García, 2012). Colombia es el territorio más vulnerable a eventos climáticos extremos en Suramérica. En el 2010 ha sido el tercer territorio con más pérdidas relacionadas a eventos climáticos, la deforestación agrava el caso al incrementar la erosión y sedimentación de las cuencas y ríos. Lo mismo ocurre en el Río Cauca, que tiene un elevado nivel de sedimentación por la deforestación en su cuenca (Duque et

al.,2019). No es de extrañarse entonces que dichos ríos salgan de su cauce al caer lluvias más intensas de lo usual. La pérdida de bosques perjudica el abastecimiento y disponibilidad de agua. En un escenario de aumento de la demanda del recurso hídrico por aumento de la población.

Erosión y escorrentía

Los suelos del Valle del Cauca se caracterizan por tener una alta fertilidad natural que junto al relieve plano y el clima cálido permitieron en esta región el desarrollo de un 60% de la agroindustria azucarera. Sin embargo, la utilización exhaustiva de dichos suelos y las constantes prácticas de laboreo bajo condiciones de alta humedad provocan inconvenientes de degradación física reflejados en la igualdad estructural, la organización del espacio poroso y la densidad en la capa arable, propiedades que pueden determinar en las plantas la captación de agua y nutrientes del suelo, además originar cambios en el sistema de humedad, la fertilidad y la eficiencia del riego (Salamanca y Amezquita, 2015).

Biotecnología ambiental

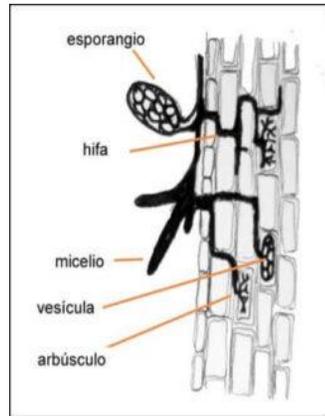
La Biotecnología ambiental trata de arreglar los desequilibrios generados en el medio ambiente por ocupaciones industriales que alteran los ecosistemas naturales por medio de contaminación química o biológica y que además están afectando a los enormes ciclos biogeoquímicos en la biosfera, mayoritariamente catalizados por organismos vivos, entre los que los microorganismos juegan un papel importante. Las desviaciones en los balances de compuestos carbonados, nitrogenados y azufrados atmosféricos tienen la

posibilidad de provocar fenómenos de enorme dificultad como el cambio climático, la devastación de la capa de ozono, la contaminación ambiental o la lluvia ácida. Por otro lado, las colaboraciones de los microorganismos entre sí y con el medio, desconocidas en su mayoría, tiene relevantes implicaciones en la generación y persistencia de especies químicas que, depositadas en las cadenas tróficas, son enormemente tóxicas para los seres vivos. Para atajar dichos inconvenientes se necesita seguir en el razonamiento a grado molecular de la ecología microbiana y del desempeño de los ciclos biogeoquímicos, aunque no es menos primordial desarrollar tecnologías para la supresión de contaminantes industriales in situ y ex situ, eludir su producción e implementación incontroladas, así como arreglar las actuaciones desequilibrantes, recientes o futuras, de la biogeoquímica planetaria (Blasco y Castillo, 2014; Montenegro et al,2018)

El manejo integrado de nutrientes es una aproximación que pretende encontrar prácticas de manejo y tecnologías para incrementar la producción agrícola, al tiempo que se logra conservar el ambiente en beneficio de su sostenibilidad, siendo esta una estrategia que considera el uso de nutrientes orgánicos como inorgánicos para obtener una alta productividad y prevenir la degradación del suelo (Hernán, 2010)

Entre los muchos métodos que se encuentran en la actualidad está el de los Biofertilizantes a base de micorrizas, en los últimos años se está incrementando exponencialmente la importancia de estos tipos de microorganismos en las explotaciones agrícolas, lo que está transformando de forma radical la industria de los fertilizantes, con una sustitución muy importante de los productos químicos por productos biológicos basados en microorganismos, tanto bacterias como hongos (Ortega,1983).

Con el paso de los años se ha hecho uso de la tecnología para fabricar diferentes dispositivos artificiales que permitan disminuir la degradación de los suelos producida por monocultivos y ganadería extensiva (Restrepo et al .,2019), que aplicada a este caso sería el cultivo de caña de azúcar.

figura 6 micorrizas

Fuente : Wikipedia, micorriza arbuscular (2020).

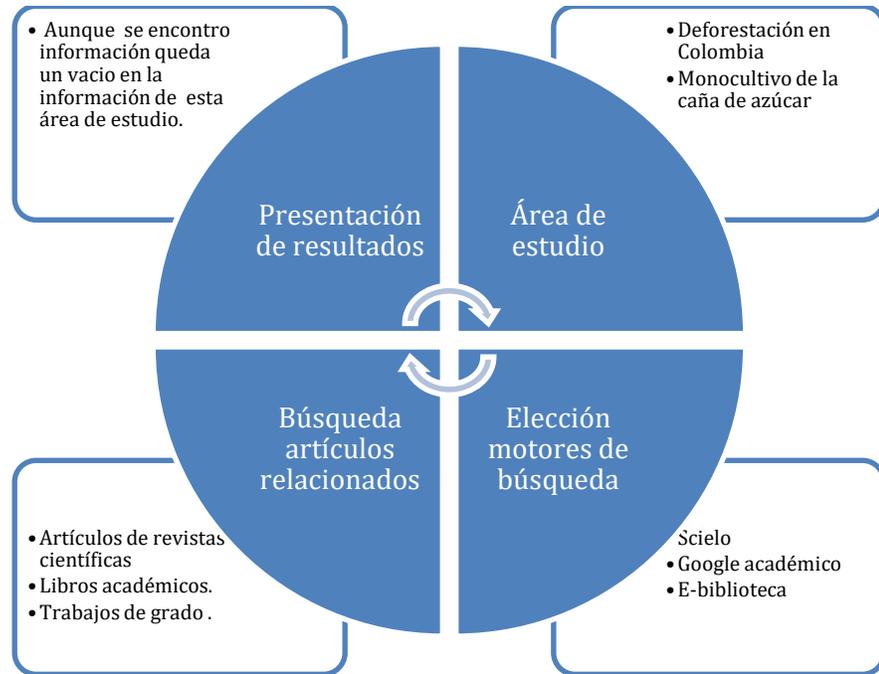
En la ilustración 6 se hace referencia a la asociación simbiótica entre las raíces de una planta y cierto grupo de hongos que son habitantes naturales del suelo, mas conocida como micorrizas arbusculares .

Según (Rivillas et al.,2019;Wilches et al.,2019) las MA mejoran la sanidad de las plantas ya que puede aumentar la tolerancia del ataque de algunos patógenos mediante la conservación de la función de la raíz durante la infección, pudiendo compensar la perdida de biomasa de las raíces mediante el crecimiento de las hifas del hongo en el suelo, al incrementar la superficie de absorción de las raíces.

Metodología

La presente investigación se llevó a cabo por medio de una metodología con motores de búsqueda.

figura 7. método de investigación



Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 7 se pueden observar los métodos utilizados para llevar a cabo la investigación, los resultados que se obtuvieron en esta investigación, los sitios a los que se recurrió y los documentos a los que se accedió para completar dicha información.

Área de estudio

La república de Colombia es un país con un orden democrático y soberano, ubicado en el extremo del noroeste de Suramérica, factor que le ofrece disfrutar de los dos océanos, Pacífico y Atlántico. Asimismo, abarca una buena parte del Amazonas. Con un promedio de 50 millones de habitantes, hablantes del español. Con una extensión de tierra de 1'141.748 kilómetros cuadrados. De Colombia, C. P. (1991). República de Colombia.

Es de clima cálido, por hallarse en zona ecuatorial, pero según la altura pueden diferenciarse varios climas, desde fríos a cálidos. Es cálido hasta 1.000 metros de altura, templado, hasta 2.500 metros y frío a mayor de 2.500 metros, con dos estaciones secas y dos lluviosas. En base a esta revisión se tuvo en cuenta el porcentaje que tiene la producción de caña de azúcar en la agroindustria del país. Los principales departamentos productores de caña de azúcar son Valle Del Cauca , Risaralda y Cauca, siendo la producción de azúcar el 2.8% del PIB agrícola a nivel nacional .

figura 8. Sector azucarero colombiano



Fuente: (Carvajal.2005)

En la ilustración 8 se presenta un mapa del Valle del Cauca, en el cual se exponen las áreas donde se presentan los ingenios azucareros.

Elección motores de búsqueda

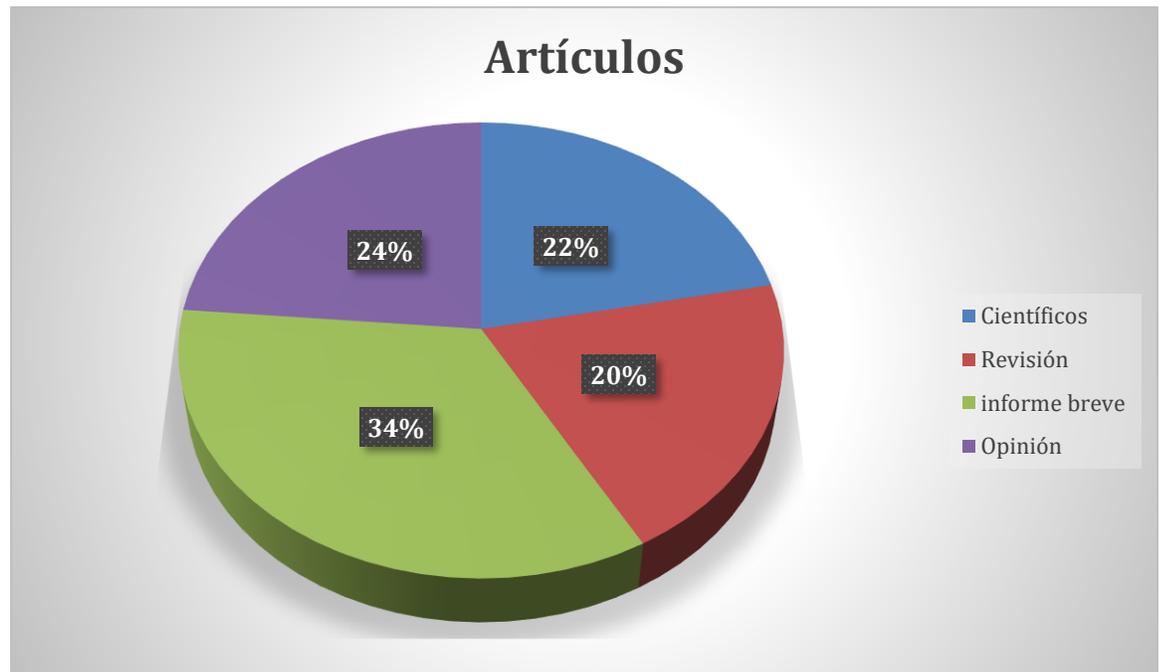
En este punto se decidió escoger los motores de búsqueda que tuvieran información científica y estudios relacionados con el tema de biodegradación en monocultivos, especialmente en el cultivo de caña de azúcar, su impacto en los suelos y la diversidad de terrenos, así como los métodos de remediación que existen actualmente a nivel nacional e internacional.

Para la recolección de la información se realizó la búsqueda en motores como Google académico, Scielo, Dialnet, e-biblioteca para los artículos científicos, empleando palabra de búsqueda como degradación de suelos, tipos de suelos en Colombia, métodos de remediación, biotecnología, y libros físicos relacionados con el tema, para los datos gubernamentales se tuvo en cuenta la información proporcionada por CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA (Cenicaña), ASOCAÑA, CENICAFE, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. De igual manera que la actividad anterior se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos sobre las soluciones empleadas en otros países para la problemática expuesta, ya sea como métodos para la mitigación de la degradación o como técnicas de biotecnología para la remediación de los suelos.

Mediante la información recolectada de las instituciones pertinentes, como ASOCAÑA, se recolectó la información para describir los cultivos de caña de azúcar usados en Colombia, donde reposa toda la información sobre las recomendaciones que se deben tener para el cultivo.

Búsqueda artículos relacionados.

En la realización de la búsqueda de artículos relacionados se pudo observar que, aunque hay muchas investigaciones de la degradación de suelos, y sus causas, aun así, no existe mucho sobre las técnicas de biotecnología utilizadas en monocultivos más específicamente en el cultivo de caña de azúcar.

figura 9. Artículos relacionados

Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica se puede analizar el porcentaje de motores de búsqueda a los que se acudió, en este caso los artículos científicos ocupan un 22% en la gráfica, los artículos de revisión un 20%, los artículos de opinión 22% y los artículos de informe breve ocupan el primer lugar con el porcentaje más alto de 34%.

En una revisión más general, se pudo analizar que los artículos de revisión sobre los aspectos generales de la degradación de suelos, el abuso más común es el uso desmedido de plaguicidas, fungicidas y excesos de nitrógeno.

Resultados y análisis

Manejo de los cultivos de caña de azúcar

Desde la época colonial el asentamiento de cultivos en el valle geográfico del río Cauca ha sido un hecho que se ha marcado por el desplazamiento y la violencia, la siembra a gran escala de la caña de azúcar y su producción industrial, los ingenios Manuelita y Rio Paila Castilla han colonizado las altillanuras colombianas en tiempos recientes, reproduciendo el mismo modelo que genera grandes impactos ambientales en una región de ecosistemas frágiles (Delgadillo, 2014).

En 1952 las plazas cultivadas por caña de azúcar eran de 29.260 con destino a la producción de panela, mientras tanto, el área que era cultivada para azúcar fue de 30.000 plazas. Las cuales estaban ubicadas en Palmira, Candelaria, Cerrito y Pradera.

Resulta necesario que en Colombia se realice un manejo en la producción anual de caña de azúcar, permitiendo que el suelo tenga un descanso entre cultivos y evite la compactación. Igualmente establecer espacios adecuados para el proceso de transformación de la caña de azúcar, logrando que los restos de cenizas queden deambulando por el medio ambiente.

figura 10. Áreas cultivadas

Municipio zona plana	No. fincas	Total	Superficie - plazas	
			Cultivada	caña
Palmira	47	8.525	6.646	4.015,04
Candelaria	24	3.245	2.426	2.327,04
Cerrito	16	4.243	3.712	1.571,52
Pradera	15	3.262	2.764	1.486,4
Totales parciales	102	19.276	15.524	9.376,64
%	8,6	24,90	26,9	50,07
Totales/ 38 municipios	1190	77.398	57.750	18726,72

Total: Extensión total de las fincas que tienen plantaciones de caña de azúcar.

Cultivada: Extensión total cultivada de las fincas. Datos originales en plazas

Fuente: Delgadillo vargas, (2010)

En la Ilustración 10 se logra observar los municipios que poseen mayor cantidad de caña de azúcar, su producción y el número de fincas que poseen.

A partir de 1950 la agricultura empezó a tener cambios en los sistemas de riego, diseño de campo, fertilización y desarrollo de variedades. en el periodo de 1940-1949 ingresaron al país 5.036 unidades de maquinaria agrícola. En la década de los 70 se hicieron los primeros ensayos con la aplicación de madurantes, sustancias químicas que actúan como reguladores de crecimiento que afectan la maduración.

En la investigación de Aguirre y Bermúdez (2019), se indica que los humedales perciben una expresión de conflictos espaciales, producidos por agentes sociales asociados al cultivo de la caña de azúcar, el estado y las comunidades aledañas que soportan el poder ejercido por los dos primeros. Bajo este contexto y debido a las acciones políticas de los gobernantes de turno, fueron concebidas nuevas formas de producción basada en el desarrollo económico de la región, en su momento se recomendó

impulsar el cultivo de caña de azúcar para sacar provecho de las condiciones climáticas y ecológicas del valle geográfico del Río Cauca. esto derivó en la adecuación de terrenos propios de humedales, regulación de caudales de los ríos produciendo una expansión acelerada del cultivo. En la siguiente tabla se puede ver el aumento del área de cultivo desde 1915 hasta el año 2013.

figura 11. aumento de cultivos 1915 a 2013



Fuente: Aguirre,., Bermúdez,., (2019)

La imagen anterior contiene unas cifras del aumento del cultivo con el paso de los años en el Valle del Cauca hasta el año 2013. Las repercusiones del monocultivo de caña de azúcar se vieron reflejados en la transformación del paisaje, disminución de cuerpos de agua, conflictos espaciales que reflejan asimetrías de poder entre agentes sociales capitalistas.

Clasificación de tecnologías de remediación

Estas suelen clasificarse en base a los siguientes principios: estrategias de remediación (destrucción, extracción, aislamiento), lugar en el que se realiza (in situ, ex situ) y tipo de tratamiento (biológicos, fisicoquímicos, térmicos).

figura 12. Tecnologías in situ, ex situ

	In situ	Ex situ
Ventajas	Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar Potencial disminución en costos	Menor tiempo de tratamiento Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogeneizar y muestrear periódicamente
Desventajas	Mayores tiempos de tratamiento Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo Dificultad para verificar la eficacia del proceso	Necesidad de excavar el suelo Aumento en costos e ingeniería para equipos Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante

Fuente: Velasco,. (2002).

La imagen ofrece un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas presentes en in situ y ex situ.

Las técnicas in situ son de menor costo y de bajo impacto ambiental, pero existen muchas dudas sobre su efectividad, en cambio las técnicas ex situ se destacan por su efectividad, pero son de costo elevado. para la selección de la mejor tecnología a utilizar se debe antes hacer un estudio ambiental y la valoración de costos.

ejemplo serb la Bioventilacion es un tratamiento in situ que extrae vapores del suelo mediante diferentes presiones generadas por el bombeo de aire (Coria,.2007).

figura 13. Tipos de tratamiento

	Ventajas	Desventajas
Tratamientos biológicos	Son efectivos en cuanto a costos Son tecnologías más benéficas para el ambiente Los contaminantes generalmente son destruidos Se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior	Requieren mayores tiempos de tratamiento Es necesario verificar la toxicidad de intermediarios y/o productos No pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano
Tratamientos fisicoquímicos	Son efectivos en cuanto a costos Pueden realizarse en periodos cortos El equipo es accesible y no se necesita de mucha energía ni ingeniería	Los residuos generados por técnicas de separación, deben tratarse o disponerse: aumento en costos y necesidad de permisos Los fluidos de extracción pueden aumentar la movilidad de los contaminantes: necesidad de sistemas de recuperación
Tratamientos térmicos	Permite tiempos rápidos de limpieza	Es el grupo de tratamientos más costoso
		Los costos aumentan en función del empleo de energía y equipo
		Intensivos en mano de obra y capital

Fuente: Velasco,. (2002).

Esta imagen resulta ser un cuadro comparativo más amplio, en el cual se observan las ventajas y desventajas de cada tipo de tratamiento como lo es el tratamiento biológico, el tratamiento fisicoquímico y el tratamiento térmico.

Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos buscan minimizar la contaminación, disminuyendo su reactividad y peligrosidad del contaminante y así reducir su vertido al medio ambiente, según Moreno (2005), estas técnicas se pueden agrupar en tres categorías (inmovilización, movilización y destrucción), esta última puede destruir residuos orgánicos, mientras que los inorgánicos no pueden ser destruidos, solo se puede cambiar su estado de oxidación. entre estas técnicas se encuentra la Biorremediación que es el uso de microorganismos para manipular sus actividades metabólicas, eliminando así los contaminantes o al menos convertirlos en especies químicas menos agresivas (Cuadros, 2005).

Tratamientos fisicoquímicos

Los tratamientos fisicoquímicos más empleados consisten en procesos como la oxidación/reducción (transformación) de los metales, el lavado de suelos (separación de los metales) y la solidificación/extracción (inmovilización de los metales). Sin embargo, una desventaja de los métodos fisicoquímicos radica en que la mayoría requiere de la excavación del suelo y un proceso secundario de tratamiento o disposición final del contaminante, lo que genera un costo económico y ambiental (Covarrubias et al., 2015).

Tratamientos térmicos

Esta técnica es utilizada para remediar los suelos contaminados por metales pesados como el mercurio, este tratamiento se basa principalmente en un mecanismo de evaporación física que se da por calentamiento hasta el punto de ebullición de los contaminantes del suelo, que suele adoptar una temperatura que va desde los 250°C a 550°C, aunque es ampliamente utilizado es un proceso ambientalmente invasivo, pero es una solución económica para el tratamiento de residuos (Cano Mamani y Luna Mendoza, 2021).

Una única tecnología para reducir los impactos de un contaminante no siempre es suficiente por lo que se suele emplear una secuencia de tecnologías. En el caso de la contaminación en los suelos por el proceso del cultivo de caña de azúcar se podría hacer uso de un dispositivo que se pueda instalar debajo de la tierra para determinar la cantidad de químicos presentes en el suelo terrestre, se determinara una cifra porcentual de riesgo añadiendo que si el dispositivo llega a marcar esa cifra indicara que se corre un riesgo por degradación de suelos (Cuadros, 2005).

Según el estudio realizado por Mashuán Bactación (2017) en un cultivo de caña de azúcar contaminado con Amina 6 en la empresa agroindustrial Casa Grande se utilizó el hongo trichoderma sp., llegando a la conclusión de que esta alternativa es sostenible para remediar los suelos, mejorar la fertilidad y calidad de estos.

Por su parte, Yah (2018) propone la biodegradación de herbicidas mediante bacterias nativas de suelos agrícolas. Encontrando que según la forma en la que se

apliquen las técnicas de recuperación de suelos se habla de tratamientos insitu, los cuales actúan sobre los contaminantes. los porcentajes de degradación son bajos en comparación con otros estudios, sin embargo, indican que los microorganismos son capaces de utilizar el herbicida como única fuente de carbono y participan en la biodegradación de este cuando es aplicado en suelos agrícolas.

Algunas de las técnicas utilizadas eliminan los plaguicidas que se utilizan en cultivos como el cacao y la caña de azúcar.

Un análisis desarrollado en la frontera entre India y Pakistán, en un área cultivada con caña de azúcar y sorgo, en donde se utilizan grandes porciones de fertilizantes fosforados que permanecen reportados como fuentes de metales pesados en los suelos resultaron en reportes del uso potencial de estas plantas como, Fito extractoras de plomo, cadmio y cobre puesto que sus Componentes de Bioacumulación de Metales (BAF) han estado cerca de 1, lo cual resulta ser un buen indicador (Singh, 2015). En USA, el sorgo plantado en suelos contaminados por metales pesados además demostró su destreza Fito extractora, solo o en mezcla con micorrizas orbiculares del tipo *Azotobacter chroococcum*. (Dhawi et al. 2016).

Conclusiones

La información que se revisó sobre el uso de técnicas de remediación presenta un vacío en cuanto a cultivos como el de la caña de azúcar. Luego de indagar en artículos científicos se puede concluir que la biorremediación resulta ser la técnica más adecuada para el tratamiento de suelos degradados por monocultivos como el de caña de azúcar. Las técnicas de biorremediación que se utilizan en los monocultivos se clasifican en ex situ e in situ siendo las últimas las más utilizadas por que su aplicación es de bajo costo.

Para hacer el tratamiento en suelos afectados por monocultivos como la caña de azúcar se debe usar una secuencia de tecnologías conociendo el nivel y tipo de contaminantes del suelo para identificar el riesgo de degradación.

La bio-estimulación o bio-degradación aeróbica estimulada puede remover compuestos limitantes de biodegradación de contaminantes, entregando al suelo nutrientes y en el agua subterránea incrementando la actividad de microorganismos autóctonos responsables de hacer biodegradación.

Las técnicas de remediación no convencionales se aplican para compuestos orgánicos persistentes, proceso que se da mediante la aplicación de fotocatalizadores, seguido al proceso avanzado de oxidación y en menor cantidad a la electro oxidación esto es debido a que ofrece muchas propiedades, las cuales incluyen estabilidad química, amplia disponibilidad, propiedades electrónicas de estructura económicas y confiables.

El uso de la fitorremediación en la agricultura contribuye a mejorar el nivel nutricional de

la planta lo que se puede ver reflejado en mayor masa seca, crecimiento y área foliar de la planta.

En estudios realizados en suelos que se han usado fertilizantes fosforados y con altas concentraciones de metales pesados el uso de micorrizas demostró su destreza fito extractora. Las micorrizas arbusculares son encontradas en todo tipo de suelos y suelen colonizar cualquier planta que establezca una simbiosis con ellos, cabe destacar que las condiciones físico-químicas del suelo podrían estar generando cierta sensibilidad hacia las plantas hospederas.

Recomendaciones

Es necesario que el gobierno del Valle del Cauca realice una intervención en pro de la conservación de las hectáreas de cultivo, en especial donde se siembra caña de azúcar ya que en estas áreas se produce una degradación de los suelos que debe seguir siendo estudiada.

La biorremediación resulta ser la técnica con mayor eficiencia para resolver la degradación de suelos producida por cultivos de caña de azúcar. Como medida de prevención se debe mitigar el uso de insecticidas en los cultivos de caña de azúcar, generando así una disminución en la degradación de los suelos.

Referencias

- Acosta, L. D., Hernández, M. L. (2016). Biorremediación de suelos contaminados por organoclorados mediante la estimulación de microorganismos autóctonos, utilizando biosólidos. *Nexo Revista Científica*, 29(01).
- Afanador-Barajas, L. N., Coca Peña, D. A., Vargas Giraldo, A. F., Bautista Murcia, M. F., Hernández, A. M., & Vallejo Quintero, V. E. (2020). Evaluación de la calidad de suelos en agroecosistemas de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos. *Colombia forestal*, 23(1), 54-77. De <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v23n1/0120-0739-cofo-23-01-54.pdf>
- Aquino Zambrano, K. L., Franco Tigua, C. G. (2020). *Biorremediación de suelo degradado por pesticida a partir de un sustrato (Biochar inoculado con microorganismos eficientes y lixiviados)* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química). De <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50336>
- Ayala-Osorio, G. (2021). Los planes de desarrollo como instrumentos de validación: caña de azúcar y agroindustria cañera en el Valle del Cauca y Cauca (Colombia). *Kairós. Revista de Ciencias Económicas, Jurídicas y Administrativas*, 4(7), 113-140. de https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Ayala-Osorio%2C+G.+%282021%29.+Los+planes+de+desarrollo+como+instrumentos+de+validaci%C3%B3n+3A+ca%C3%B1a+de+az%C3%BAcar+y+agroindustria+ca%C3%B1a+en+el+Valle+del+Cauca+y+Cauca+%28Colombia%29.%C2%A0Kair%C3%B3s.+Revista+de+Ciencias+Econ%C3%B3micas%2C+Jur%C3%ADdicas+y+Administrativas%2C%C2%A0%287%29%2C+113-140.%09%09%09&btnG=
- Aguirre, M. A., Bermúdez, O. B., (2019). Los humedales como expresión de conflictos espaciales: el Cementerio y Ciénaga Mateo, Bugalagrande, Colombia. *Journal of Political Ecology*, 26(1), 687-703. De <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/JPE/article/view/23166/0>
- Asocaña, (2021). Informe anual de Asocaña con aspectos generales del sector agroindustrial de la caña de Colombia 2020-2021 y anexos estadísticos.
- Bastidas-Obando, E., Carbonell, J. A., (2010). Caracterización espectral y mineralógica de los suelos del valle del río Cauca por espectroscopía visible e infrarroja (400-2.500 nm). *Agronomía Colombiana*, 28(2), 291-301.
- Blasco Pla, R., Castillo Rodríguez, F., (2014). Acerca de la biotecnología ambiental. De <https://dehesa.unex.es/handle/10662/4303>
- Barragán Tello, C. A., (2018). Seguridad alimentaria asociada a la degradación del suelo en Colombia. De <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/20079>

- Carbonell González, J., Amaya Estévez, A., Ortiz Uribe, B. V., Torres Aguas, J. S., Quintero Durán, R., Isaacs Echeverry, C. H. (2001). *Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el Valle del Río Cauca: tercera aproximación* (No. Doc. 16405/2001) CO-BAC, Bogotá).
- Carbonell González, J. (2011). *Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación): principios metodológicos y aplicaciones* (No. P01-293). cenicaña (Colombia).
- Carbonell González, J. (2013). *Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca* (No. P01-293). cenicaña (Colombia).
- Cortes Ortiz, B. T. (2010). Descripción socioambiental del suelo en el valle geográfico del Río Cauca: el caso de la agroindustria azucarera. *Luna Azul*, (31), 41-57.
- Coria, I. (2007). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Centro de Altos Estudios Globales*, <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/ing/UAIS-IGA-600-001>.
- Covarrubias, S. A., Berumen, J. A. G., Cabriales, J. J. P. (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*, 25, 40-45
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo*, 28(2), 223-231. De http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672010000200010&script=sci_abstract&tlng=en
- Cano Mamani, K. R., Luna Mendoza, B. E. (2021). Tratamiento térmico como medio de eliminación para suelos contaminados con mercurio: Revisión sistemática.
- Casteblanco, J. A. (2018). Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 21-35
- Cantero, M. C., Rhenals, V. I., Moreno, A. J. (2015). Determinación de la degradación de suelos por minería aurífera aluvial en la ribera del río San Pedro, Puerto Libertador, Córdoba, Colombia. *Ingeniería e Innovación*, 3(1).
- Carvajal, A. (2005). Análisis Estructural 2004-2005. Sector Azucarero Colombiano, ASOCAÑA . De <https://www.asocana.org/StaticContentFull.aspx?SCid=19>
- Cuadros, A. M. M. D., Ambiental, M. (2005). Técnicas de Remediación Biológicas.
- Dhawi, F., Rupali Datta, Wusirika Ramakrishna. (2016). "Mycorrhiza and heavy metal resistant bacteria enhance growth, nutrient uptake and alter metabolic profile of sorghum

- grown in marginal soil.” *Chemosphere* 157:33– 41. [en línea] doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.112>.
- De Colombia ,C.P.(1991). Constitución política de Colombia de <https://registraduria.gov.co/IMG/pdf/constitucio-politica-colombia-1991.pdf>
- Delgadillo Vargas,. O. L., (2014). La caña de azúcar en la historia ambiental del valle geográfico del río Cauca (1864-2010).
- Díaz Mendoza,. C., (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e investigación*, 31(3), 80-90. De https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Alternativas+para+el+contro+de+la+erosi%C3%B3n+mediante+el+uso+de+coberturas+convencionales%2C+no+convencionales+y+revegetalizaci%C3%B3n%09+&btnG=
- De la Rosa Cruz,. N. L., Sánchez-Salinas,. E., Ortiz-Hernández,. M., (2014). Biosurfactantes y su papel en la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 5(1), 1-21. De <https://link.springer.com/article/10.7603/s40682-014-0004-8>
- Duque Escobar, G.,(2019) El Río Cauca en el desarrollo de la región. *Departamento de Matemáticas y Estadística*.
- Fernández,. A. C., Bestard,. I., Bobadilla,. I., Ponsell,. C., (1998). Ciencias de la Tierra y del medio ambiente: valoración y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 6(1), 52-56. De https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Ciencias+de+la+Tierra+y+d+el+medio+ambiente%3A+valoraci%C3%B3n+y+propuestas%09&btnG=
- González,. P., Sadeghian Khalajabadi,. S., Montoya Restrepo,. E. C., (2006). Caracterización de la fertilidad del suelo en la zona cafetera del Valle del cauca mediante registros históricos. *Cenicafé (Colombia)* v. 57 (1) p. 7-16.
- Gómez-Calderón,. N., Villagra-Mendoza,. K., Solorzano-Quintana,. M., (2018). La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria). *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 167-177.
- Gómez,. L. I. A., Portugal,. V. O., Arriaga,. M. R., Alonso,. R. C., (2007). Micorrizas arbusculares. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14(3), 300-306.
- Guerrero Rivera,. M. A., (2020) Conflicto del uso del suelo en Colombia como precursor del aumento de su degradación. De <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/37298>

- García, H., (2012). Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas.
- García, C. E., Montero, D., Soto, M., & Muñoz, F(2018). Uso de una Cámara Multiespectral para la Discriminación entre Tratamientos de Nitrógeno en Caña de Azúcar.
- Garrett, C., (2021). Deforestación: definición, causas y consecuencias. Recuperado el 11 de marzo de 2022, de <https://climate.selectra.com/es/que-es/deforestacion>
- Hofmann, L. L., (1960). Propiedades físicas de algunos suelos del Valle del Cauca. *Acta Agronómica*, 10(3-4), 213-253.
- Hernández-Ruiz, G., Álvarez-Orozco, N. A., Ríos-Osorio, L. A., (2017) Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: revisión sistemática. Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria en línea. Enero–abril 2017, n 1. Fecha de consulta: 04 de junio de 2020.
- Hernan,B,O.(2010).ciencias del suelo principios básicos. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo (p 425).
- Jaizme-Vega, M. C., (2012). 5. La vida en el suelo. Papel de los microorganismos en la agroecología. *Agricultura en Canarias*, 145. De https://www.researchgate.net/profile/Julio-Afonso-Carrillo/publication/357777580_Agricultura_en_Canarias_Conciliando_tradicion_y_ciencia/links/61defd765c0a257a6fe34538/Agricultura-en-Canarias-Conciliando-tradicion-y-ciencia.pdf#page=147
- Jiménez Ballesta, R., (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Mundi-Prensa Libros.
- Larrahondo, J., Villegas, F., (1995). Control y características de maduración. *El Cultivo de la Caña de azúcar en la Zona Azucarera de Colombia. CENICANÑA DE AZÚCAR. Colombia*, 297-313
- Lau, C., Jarvis, A., Ramírez Villegas, J., (2011). Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático
- La Republica, *Aumenta déficit mundial de suministro de azúcar por la caída de la producción china*.(2022).De <https://www.larepublica.co/globoeconomia/aumenta-deficit-mundial-de-suministro-de-azucar-por-la-caida-de-la-produccion-china-3289147>
- Martínez-Prado, A., Pérez-López, M. A., Pinto-Espinoza, J., Gurrola-Nevárez, B. A., Osorio-Rodríguez, A. L., (2011). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos

empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(3), 241-252

Marzan,. L. W., Mehjabeen Hossain,. S. A. M., Yasmin Akter,. A.M., Masudul Azad Chowdhury,. (2017). "Isolation and biochemical characterization of heavy-metal resistant bacteria from tannery effluent in Chittagong city, Bangladesh: Bioremediation viewpoint." *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 43(1):65–74. [en línea] doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2016.11.002>

Mashuán Bactación,. A. D. C., (2017). Efecto Biorremediador de trichoderma sp. en suelo con cultivos de saccharum officinarum, contaminados con amina 6 en la Empresa Agroindustrial Casa Grande-Provincia de Ascope, La Libertad 2017.

Ministerio de comercio de china ,(2018). Divulgación de información de productos a granel:azúcar . Recuperado de : <http://www.chinasugar.org.cn/i,37,4034,0.html>

Mosquera Córdoba,. T., (2017). Eficiencia de Lombricompostaje en la Biorremediación de suelos degradados por la minería a cielo abierto en el municipio de Unión Panamericana, departamento del Chocó. DE <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/2929>

Mosquera,. T., (2021). *Biopreparados y micorrizas como alternativas de recuperación de suelos degradados en el Atrato medio antioqueño*. [Monografía]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/40360>.

Mantecón,. E. B., (2018). Biotecnología Ambiental, ¿ la cenicienta de la Biotecnología? *Ambiociencias*, (12), 81-94. De <http://revpubli.unileon.es/ojs/index.php/ambioc/article/view/4943>

Mora,. Á. G. T., (2019). Dinámicas de acaparamiento y concentración de la tierra en Colombia. El caso de la agroindustria de la caña de azúcar. *Revista Controversia*, (212), 107-141. De <https://revistacontroversia.com/index.php/controversia/article/view/1170>

Montenegro,. S. P., Pulido,. S. Y., Vallejo,. L. F. C., (2018). Prácticas de biorremediación en suelos y aguas. *Notas de Campus*, (1). De <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/notas/article/view/3451>

Moreno, C. M., González, A., & Blanco, M. J.,2004; Cuadros., (Iozano). Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación,. De <http://www.reviberoammicol.com/2004-21/103120.pdf>

- Orjuela, H.B. (2010). El suelo al servicio de la sociedad y su rol en el contexto de los cambios globales. *Tendencias*, 11(2), 53-62
- Ortega Cartaya, E. (1983). Desarrollo de enfermedades fungosas en sistemas de cultivos bajo diferentes tipos de manejo en Costa Rica. 8. *Seminario Nacional de Fitopatología. Trujillo (Venezuela). 18-22 Sep. 1983.* de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGRINVE.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000691>
- Osorio, G. A. (2019). El monocultivo de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca (Valle del Cauca, Colombia): un enclave que desnaturaliza la vida ecosistémica. In *Revista Fórum* (No. 15, pp. 37-66). Sede Medellín. Departamento de Ciencia Política. De <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6977548>
- Pérez, G. I. A., Castro, L. G. (2012). Degradación, pérdida y transformación de la biodiversidad continental en Colombia: invitación a una interpretación socio ecológica. *Ambiente y Desarrollo*, 16(30), 53-71.
- Rivillas, C. A., Calle, C. M., & Ángel, C. A. (2019). Micorrizas Arbusculares. Cenicafé. Recuperado el 11 de marzo de 2022, de <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4223/1/Cap03.pdf>
- Restrepo Giraldo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., Molina Guzmán, L. P. (2019). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. *Idesia (Arica)*, 37(1), 35-44. De https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292019005000301&script=sci_arttext
- Restrepo Valencia, M. (2021) Diagnóstico de la implementación de prácticas e indicadores de sostenibilidad ambiental en pymes del sector manufacturero de Colombia y el Valle del Cauca. De <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/42572/mrestrepov.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Rojas, A. E., Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Población y desarrollo*, (25), 5-10.
- Rincón, A. (2006). Factores de degradación y tecnología de recuperación de praderas en los llanos orientales de Colombia.

- Sicard, T. L., (2014). Relaciones agricultura-ambiente en la degradación de tierras en Colombia. *Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales. 14pp. [en línea]*.
- Salamanca, A., Amézquita, E., (2015). Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia. *RIAA, 6(1), 43-52*.
- Sentís, I., (2010). Problemas de degradación de suelos en el mundo: causas y consecuencias. In X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo
- Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Morales, E. M. (2010). Ciencia del suelo: principios básicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 310-317
- Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Morales, E. M., (2010) *Ciencia del suelo: principios básicos*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 200-210
- Soto, J. (2020). Deforestación, ¿qué es, quién la causa y por qué debería importarnos?. *Greenpeace México. Recuperado de <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/4074/deforestacion-que-es-quien-lacausa-y-por-que-deberia-importarnos/>. Consultado el, 3(10), 2020.*
- Trujillo-González, J. M., Mahecha, J. D., Torres-Mora, M., (2018). El recurso suelo; un análisis de las funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9(2), 31-38*. De <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2095>
- Torres, J., Gutierrez, J. A., Beltran, H. A., (2017). Compactación, una de las causas más comunes de la degradación del suelo. *Ciencias Agropecuarias, 3(3), 18-22*.
- Touceda-González, M., Prieto-Fernández, Á., Renella, G., Giagnoni, L., Sessitsch, A., Brader, G., Kidd, P. S., (2017). Microbial community structure and activity in trace element-contaminated soils phytomanaged by Gentle Remediation Options (GRO). *Environmental Pollution, 231, 237-251*.
- Velasco, T., Volke Sepulveda, J., (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Instituto Nacional de Ecología. De https://books.google.com.co/books?id=mj9rVEScHCcC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22T.+VELASCO+TREJO+VOLKE+SEPULVEDA,+J.%22&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Vallejo, V., Salgado, L., Roldan, F., (2005). Evaluación de la bioestimulación en la biodegradación de TPHs en suelos contaminados con petróleo. *Revista colombiana de biotecnología, 7(2), 67-78*.

Wilches Ortiz,. W. A., Ramírez Gómez,. M. M., Pérez Moncada,. U. A., Serralde Ordoñez,. D.

P., Peñaranda Rolon,. A. M., Ramírez,. L., (2019). Asociación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Colombia. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 175-184. De http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792019000200175

Yah,. R. A., (2018). Biodegradación del (Herbicida) ácido 2, 4-diclorofenoxiacético) mediante bacterias nativas de suelos agrícolas de la comunidad San Víctor en Corozal, Bel

Yang, S., Cao, J., Li, F., Peng, X., Peng, Q., Yang, Z. y Chai, L. (2016). Evaluación de campo de la efectividad de tres subproductos industriales como enmiendas orgánicas para la fitoestabilización de un relave minero de Pb/Zn. *Ciencias Ambientales: Procesos e Impactos* , 18 (1), 95-103.

Yang, S., Cao, J., Li, F., Peng, X., Peng, Q., Yang, Z. y Chai, L. (2016). Evaluación de campo de la efectividad de tres subproductos industriales como enmiendas orgánicas para la fitoestabilización de un relave minero de Pb/Zn. *Ciencias Ambientales: Procesos e Impactos* , 18 (1), 95-103.

Anexos

Glosario:

Deforestación: La deforestación es la pérdida de bosques y selvas debido al impacto de actividades humanas o causas naturales. Garrett,. (2021)

Mejoramiento: “Cambio o progreso de una cosa que está en condición precaria hacia un estado mejor.”

Micorrizas: La palabra micorriza, de origen griego, define la simbiosis entre un hongo y las raíces de una planta. Como en muchas relaciones simbióticas, ambos participantes obtienen beneficios.

Agro insumos: Los insumos agrícolas son los productos (fertilizantes, abonos, plaguicidas, semillas...) que se utilizan para el control de plagas, como uso veterinario o como alimento para los animales.

Agricultura: Conjunto de actividades y conocimientos desarrollados por el hombre, destinados a cultivar la tierra y cuya finalidad es obtener productos vegetales (como verduras, frutos, granos y pastos) para la alimentación del ser humano y del ganado

Impacto ambiental: El impacto ambiental, también conocido como impacto antrópico o impacto Antropogénico: es la alteración o modificación que causa una acción humana sobre el medio ambiente.

Biología: se puede definir como el conjunto de técnicas que involucran la manipulación de organismos vivos o sus componentes sub-celulares, para producir sustancias, desarrollar procesos o proporcionar servicios.

Degradación: es un proceso cuyo desarrollo implica la pérdida de recursos naturales.

Soberanía alimentaria: La soberanía alimentaria es el derecho de los pueblos a definir sus propias políticas y estrategias sustentables de producción, distribución y consumo de alimentos con base en la pequeña