UEA Forestal
PrePrint UEA

Sección Forestal
Vol. FOR2324. ep09–28

| Recibido: 13/03/2024 |
| Aceptado: 13/04/2024 |
| Publicado: 26/10/2026 |

Propuesta de una revegetación con especies fitorremediadoras en una zona contaminada por petróleo en la parroquia San Carlos, cantón La Joya de los Sachas

Proposal for revegetation with phytoremediation species in an area contaminated by oil in the San Carlos parish, La Joya de los Sachas canton

Anthony Adrián Mitiap Mayancha[1], Jessica Noemí Calapucha Tanguila[1] Maria Katharina Elisabeth de Decker[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2324ep09-28 Crossref

Resumen

Los derrames de hidrocarburos en Ecuador han sido identificados como uno de los problemas ambientales más preocupantes a nivel mundial. En respuesta a esta problemática, diversas organizaciones, empresas, universidades y estudiantes han buscado estrategias para fomentar el cuidado del ambiente. La investigación actual se centra en la parroquia San Carlos, ubicada en el cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana, una zona que ha experimentado múltiples derrames de petróleo. El objetivo principal de la propuesta desarrollada en este artículo es llevar a cabo una revegetación de las áreas contaminadas mediante la introducción de plantas fitorremediadoras. La intervención en las zonas afectadas mediante el proceso de fitorremediación busca reducir la dispersión de metales pesados, químicos utilizados en la extracción y otros líquidos contaminantes, así como diversos residuos derivados de la actividad extractiva. Dadas las características ambientales de la zona, se han seleccionado cuatro especies principales de plantas fitorremediadoras: *Helianthus annuus*, *Leucaena leucocephala*, *Verbena litoralis* y *Tessaria integrifolia*. Estas especies han demostrado capacidades específicas para abordar la problemática de contaminación en suelos. Por ejemplo, el girasol exhibe una capacidad de absorción que puede alcanzar hasta un 56% de plomo y cadmio en suelos contaminados. Por otro lado, el guaje presenta un crecimiento del 48% en la acumulación de cadmio y plomo. La *verbena*, por su parte, contribuye a la degradación del contaminante en un rango de 13,2% al 17,4% en suelos contaminados, mientras que *Tessaria integrifolia* se destaca por su capacidad para acumular cromo en suelos contaminados.

Palabras clave

fitorremediación, contaminación, hidrocarburos, especies nativas, revegetación.

Abstract

Hydrocarbon spills in Ecuador have been identified as one of the most worrying environmental problems worldwide. In response to this problem, various organizations, companies, universities and students have sought strategies to promote environmental care. The current investigation focuses on the San Carlos parish, located in the canton of La Joya de los Sachas, province of Orellana, an area that has experienced multiple oil spills. The main objective of the proposal developed in this article is to carry out revegetation of contaminated areas through the introduction of phytoremediation plants. The intervention in the affected areas through the phytoremediation process seeks to reduce the dispersion of heavy metals, chemicals used in extraction and other contaminating liquids, as well as various waste derived from extractive activity. Given the environmental characteristics of the area, four main species of phytoremediation plants have been selected: Helianthus annuus, Leucaena leucocephala, Verbena litoralis and Tessaria integrifolia. These species have demonstrated specific capabilities to address the problem of soil contamination. For example, sunflower exhibits an absorption capacity that can reach up to 56% of lead and cadmium in contaminated soils. On the other hand, gourd shows a 48% growth in the accumulation of cadmium and lead. Verbena, for its part, contributes to the degradation of the contaminant in a range of 13,2% to 17,4% in contaminated soils, while Tessaria integrifolia stands out for its ability to accumulate chromium in contaminated soils.

Keywords

phytoremediation, contamination, hydrocarbons, native species, revegetation.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: aa.mtiapm@uea.edu.ec, for207160@uea.edu.ec, mdedecker@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Anthony Adrián Mitiap Mayancha. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: aa.mtiapm@uea.edu.ec

Cómo citar

MITIAP MAYANCHA, Anthony Adrián, CALAPUCHA TANGUILA, Jessica Noemí and DE DECKER, Maria Katharina Elisabeth 2026. **Propuesta de una revegetación con especies fitorremediadoras en una zona contaminada por petróleo en la parroquia San Carlos, cantón La Joya de los Sachas**. PrePrint UEA. Vol. FOR2324. p. ep09–28. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2324ep09-28

Editores Académicos Darwin Javier Sucoshanay Villalba

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por el daño ambiental y sus efectos adversos en la salud humana y la biodiversidad ha impulsado la búsqueda de soluciones novedosas y sostenibles para abordar los sitios contaminados (de Bizkaia 2015). En este contexto, la fitorremediación ha emergido como una estrategia prometedora para la rehabilitación de suelos y cuerpos de agua contaminados mediante el uso de plantas que eliminan, degradan o inmovilizan contaminantes (Garzón et al. 2017). La revegetación con plantas fitorremediadoras, especialmente en áreas afectadas por derrames de hidrocarburos, ha demostrado ser una estrategia ecológicamente sostenible y eficaz para restaurar la calidad ambiental y recuperar los

ecosistemas (Acevedo Sandoval 2011).

La parroquia San Carlos, situada en el cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana, Ecuador, ha sufrido múltiples derrames de petróleo desde 2006, lo que ha provocado la contaminación del suelo y la degradación del entorno local (Loayza Vargas 2017). Esta problemática plantea desafíos ambientales significativos que requieren intervenciones específicas y efectivas para mitigar los impactos negativos en la salud humana, la biodiversidad y las economías locales (Velasquez Hinestroza y Galeano Flórez 2021). Considerando esta situación, el presente estudio tiene como objetivo investigar la revegetación utilizando técnicas de fitorremediación para rehabilitar áreas contaminadas con hidrocarburos en la Parroquia San Carlos. Se busca identificar y seleccionar especies vegetales con capacidad para absorber, degradar o estabilizar la contaminación causada por los derrames de hidrocarburos en el suelo, contribuyendo así a la restauración de los ecosistemas afectados y a la mejora de la calidad ambiental (Suarez Beltrán 2013). Este estudio no solo busca abordar los desafíos ambientales específicos de la parroquia San Carlos, sino también contribuir al conocimiento científico sobre las técnicas de fitorremediación y su aplicación en entornos afectados por derrames de hidrocarburos (Meza Quispe y Molina LLanco 2023). Además, se espera que los resultados de este trabajo tengan un impacto significativo desde una perspectiva socioeconómica, ambiental, científica y técnica al proporcionar soluciones innovadoras y sostenibles para la remediación de sitios contaminados (Obando 2009).

En este contexto, los objetivos principales de este proyecto son: (1) identificar especies fitorremediadoras adecuadas para la revegetación en la parroquia San Carlos; (2) evaluar el potencial de estas especies para remediar áreas contaminadas por hidrocarburos; y (3) desarrollar recomendaciones prácticas para la implementación de la revegetación con fines de fitorremediación en la zona afectada.

1.1. Fundamentación teórica

1.1.1. Petróleo

El petróleo es un recurso natural compuesto principalmente por hidrocarburos orgánicos, formado durante millones de años desde la descomposición de materia orgánica y transformaciones químicas. (Gonzaga et al. 2020)

1.1.2. Derrame de hidrocarburos

El derrame de hidrocarburos se refiere a la liberación accidental de estos compuestos orgánicos en el medio ambiente, lo que puede tener graves consecuencias para el medio ambiente y salud humana (García Castillo y Castillo Alanís, 2022)

El derrame petrolero se refiere a un incidente causado por fallas en la tubería o conductos de transporte de petróleo, ya sea debido a desastres naturales como sismos o deslizamientos de tierra, o causados por acciones humanas como sabotajes, lo que resulta en la ruptura de la tubería y, como consecuencia inmediata, la fuga de petróleo que provoca daños irreparables en el medio ambiente. La compañía petrolera encargada de explorar, producir y distribuir crudo y sus derivados asumirá los costos para reparar las líneas de distribución afectadas, considerando la evaluación técnica del daño, el trabajo necesario y la limpieza de los impactos ambientales (Vizuete et al. 2019).

1.1.3. Contaminación ambiental

La contaminación atmosférica o contaminación ambiental es la presencia de un agente (físico, químico o biológico) o una combinación de agentes en lugares, formas y concentraciones que puedan perjudicar la salud, la seguridad y el bienestar de la población. Pueda ser perjudicial para los seres vivos en general (Anzules y Castro 2022).

1.1.4. Toxicidad de hidrocarburos

La toxicidad de los hidrocarburos varía según su tipo, tamaño de la molécula, vía de exposición, cantidad y duración de la exposición. Los hidrocarburos alifáticos son menos tóxicos que los aromáticos, siendo algunos, como el benceno, cancerígenos. Los ligeros son más volátiles y se inhalan fácilmente, mientras que los pesados se acumulan en el medio ambiente (Villacres Manzano 2015).

La exposición puede ser por inhalación, ingestión o contacto con la piel, teniendo efectos como problemas respiratorios, gastrointestinales, irritación cutánea y dermatitis. La exposición aguda puede ser fatal, mientras que la crónica puede causar problemas a largo plazo como cáncer y enfermedades respiratorias. Ejemplos de efectos nocivos incluyen cáncer, problemas respiratorios, del sistema nervioso y reproductivos. Los hidrocarburos son sustancias tóxicas con diversos riesgos para la salud (Carriquiriborde y Bainy 2012).

1.1.5. Plantas fitorremediadoras

Plantas fitorremediadoras son capaces de recuperar suelos con metales pesados (Mercado Chinchay & Morales Palacios, 2021) el han investigado el potencial de las plantas fitorremediadoras para mejorar los ambientes contaminados (Silva, 2012).

1.1.6. Fitorremediación

La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos, tales como metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y derivados del petróleo (Delgadillo López et al. 2011).

1.1.7. Revegetación con especies fitorremediadoras

El concepto de revegetación con plantas fitorremediadoras implica el uso de especies vegetales específicas para mitigar el impacto de metales pesados y otros contaminantes en suelos y aguas contaminadas. Este enfoque, conocido como fitorremediación, ha demostrado ser eficaz para reducir la concentración de metales pesados en áreas contaminadas (Montano et al. 2022).

1.1.8. Recuperación de suelos

La recuperación de suelos contaminados es relevante, porque la mayoría de las plantas participarán parcialmente en el control de la erosión por viento y lluvia. Por un lado, existe la posibilidad de recuperación del suelo contaminado y, por otro lado, simultáneamente, el restablecimiento de la vegetación en dicha área (González Chávez, 2005).

1.1.9. Siembra y plantación

Es fundamental hacer la distinción entre siembra y plantación, ya que son dos actividades distintas dentro del proceso de revegetación. La siembra implica dispersar las semillas en el suelo, mientras que la plantación consiste en establecer una planta que ha pasado por un proceso de reproducción, ya sea sexual o asexual (Jara Peña et al. 2014).

2. METODOLOGÍA

2.1. Métodos de investigación

La metodología de investigación es cualitativa propuesta para la revegetación con plantas Fitorremediadoras, se basa en la identificación de especies con alto potencial genético para la remediación de suelos contaminados por metales pesados (Silva 2012).

2.2. Tipos de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que, busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector ambiental, esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación (Lozada 2014).

2.3. Localización del área de estudio

El área de estudio se localiza en la parroquia rural San Carlos, ubicada en el cantón La Joya de los Sachas, Provincia de Orellana, a unos 11 km de la cabecera cantonal. La ubicación de la comunidad tiene las coordenadas WGS 1984 UTM, Zona 18 M: X = 291922 Y 9954000, en el centro eje de la comunidad **(Figura 1)**. La altitud promedio de la comunidad San Carlos es de 270 m.s.n.m. Sus características climáticas presentan una temperatura en el rango de 25 a 26 °C, con promedios relativamente uniformes a lo largo del año y una precipitación de 3360 mm. En la Parroquia de San Carlos hay 2.979 habitantes, la gran mayoría perteneciente a la nacionalidad Kichwa y mestiza. El 20,47% de la superficie de la parroquia abarca Bosque siempreverde de tierras bajas del Aguarico-Putumayo Caquetá, pero la mayor parte (69,56%) de la superficie parroquial, correspondiente 9.298,45 ha, se encuentra con intervención humana. En la parroquia San Carlos se identificó una labor agrícola muy importante, siendo esta una de las principales actividades económicas del territorio destinada a la producción de *Elaeis guineensis* (palma africana), *Theobroma cacao* (cacao), *Musa paradisiaca L.* (plátano), *cafeto arábigo* (café), *Colocasia esculenta L.* malanga y *Zea Mays* (maíz) (GAD Parroquial de San Carlos 2019).

La parroquia San Carlos se ha identificado como un área de interés para la investigación por su historial de contaminación por hidrocarburos. En los últimos años desde 2006 hasta 2023 se han registrado varios derrames de petróleo y actividades petroleras en la parroquia San Carlos – el MAATE registró 187 casos oficiales sin contar los numerosos accidentes no registrados. El área de investigación se encuentra específicamente en el km 5 en la vía Sacha Sur y ½ km, Vía Coca y Lago Agrio, cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana (Figura 1), ya que existe presencia de áreas de suelo contaminadas con derrames de hidrocarburos.

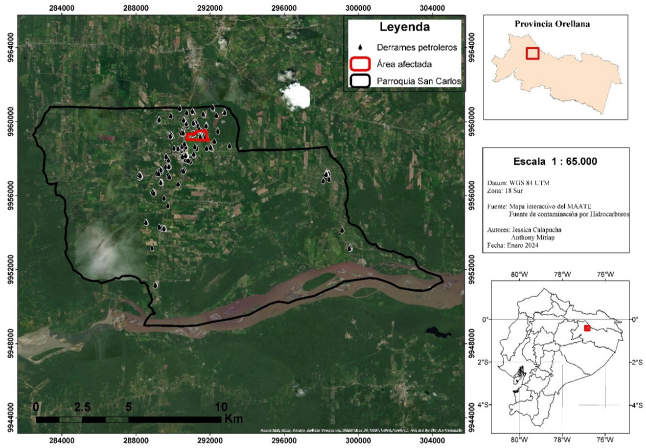


Figura 1 | Ubicación del área de estudio en la parroquia San Carlos. Tomado de A. Mitiap y J. Calapucha (2024).

2.3.1. Métodos

En 2023, el último accidente en la comunidad San Carlos provocó la contaminación del suelo y la degradación del medio ambiente local. Entre las zonas afectadas se encuentra el área seleccionada **(Figura 2)**, una ubicación específica que ha sufrido múltiples eventos de derrame de hidrocarburos (9 casos oficiales por el MAATE entre 2007 hasta 2022).

UTM, con la ayuda de la aplicación GPS Essentials para seleccionar el área de estudio, al igual que se descargó la información digital georreferencia de las fuentes de contaminación por Hidrocarburos del mapa Interactivo del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (http://ide.ambiente.gob.ec:8080/mapainteractivo/). En esta base de datos, el MAATE "define como Fuente de contaminación a toda actividad antrópica o infraestructura que, contiene, emite o dispersa contaminante La elección del área de estudio se basa en una evaluación de varios factores, tales como la gravedad de la contaminación por hidrocarburos, la viabilidad de implementar medidas de remediación y la disponibilidad de datos confiables.

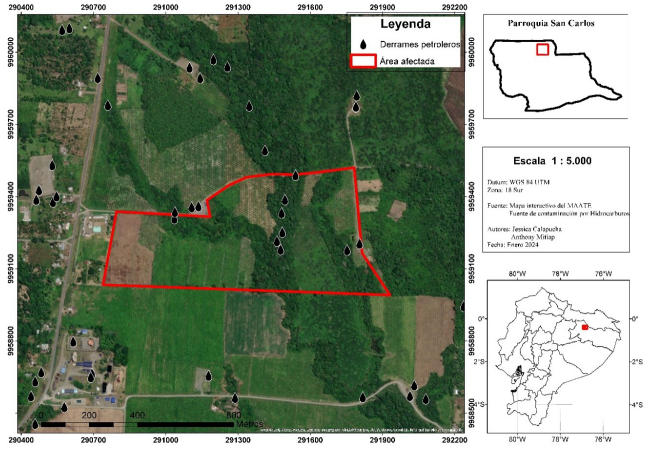


Figura 2 | Área afectada en la parroquia San Carlos. Tomado de A. Mitiap y J. Calapucha (2024).

Se tomaron puntos de coordenadas en un área determinada, provocando efectos adversos o alteraciones negativas, a uno o varios componentes del ecosistema, lo que ocasiona, o potencialmente puede ocasionar daños o pasivos ambientales. Las fuentes de contaminación se clasifican en fuentes de

contaminación activas e inactivas según su estado de operatividad" (http://ide.ambiente.gob.ec:8080/mapainteractivo/).

Las principales fuentes de contaminación son Piscinas (sitio de disposición de desechos químicos, lodos, ripios de perforación e hidrocarburos de las pruebas de producción (PRAS 2012), Fosa (excavación de dimensiones pequeñas, que se hacía para confinar el material contaminado producto de los derrames de hidrocarburos (Petroecuador EP 2012) y derrame de hidrocarburos producidos por causas operacionales imprevistas o naturales, hacia cuerpos de agua y suelos aledaños (MAATE).

2.4. Revisión bibliográfica de especies fitorremediadoras

La metodología abordada para la elección de especies fitorremediadoras se enmarca en la revisión bibliográfica de artículos científicos. En la primera fase se buscó las fuentes en las principales bases de datos de documentación científica (Dialnet, Google Académico, Recoleta, Teseo, etc.). Asimismo, se han cotejado las referencias atendidas en los documentos objeto de estudio. Las búsquedas se han concentrado en las aportaciones acreditadamente científicas: Las tesis doctorales, y artículos publicados en revistas científicas y aportaciones congresuales (Torrebadella 2017).

2.5. Identificación de las especies Fitorremediadoras

Se han identificado investigaciones que respaldan la eficacia de las especies fitorremediadoras recuperando suelos contaminados por hidrocarburos. Estos estudios han demostrado que ciertas especies de plantas poseen la capacidad única de absorber, metabolizar o degradar los contaminantes de hidrocarburos del suelo, contribuyendo a la restauración ambiental y a la mejora de la calidad del suelo (Delgadillo López et al. 2011).

Además, al buscar plantas nativas, se priorizó las especies adaptadas a las condiciones ambientales y climáticas de la parroquia San Carlos. Esto asegura que las especies seleccionadas no solo sean efectivas en la remediación del suelo contaminado, sino que también sean capaces de prosperar en el entorno local, maximizando así el éxito de la propuesta de revegetación.

3. Resultados y discusión

3.1. Sitio seleccionado para la revegetación

El área de estudio es de 43 hectáreas ubicadas en la parroquia San Carlos, dentro del cantón la Joya de los Sachas con una altitud de 270 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.). El clima predominante se caracteriza por ser caluroso, con temperaturas que oscilan en un rango de 25 a 26 °C.

En el área de selección se observa una diversidad en el uso del suelo con cultivos de *Zea Mays* (maíz), *Theobroma cacao* (Cacao) y *Elaeis guineensis* (palma africana).

El área de estudio se divide en cuatro zonas de cultivo y dos zonas de arboleda. Las zonas de cultivo variaron en tamaño, que son 33,362 m^2, 36,757 m^2, 56,582 m^2, 150,260 m^2, mientras que las zonas de arboleda tenían extensiones de 103,604 m^2 y 52,535 m^2 respectivamente (Figura3).

La arboleda es una zona normalmente de extensiones reducidas cubiertas de árboles, que no son bosques y se encuentran en las zonas de cultivos donde suelen ser espacios tranquilos donde el aire suele ser más limpio con respecto a su entorno (Matteucci 2012).

En el área de estudio, se encuentra una extensa arboleda situada cerca del estero del río que desempeñan múltiples funciones como cortinas rompevientos, ofreciendo protección contra la fuerza del viento y ayudando a mantener un microclima más estable en los campos cercanos. Además, sirven como barreras naturales que delimitan las 4 áreas de cultivo **(Figura 3)**.

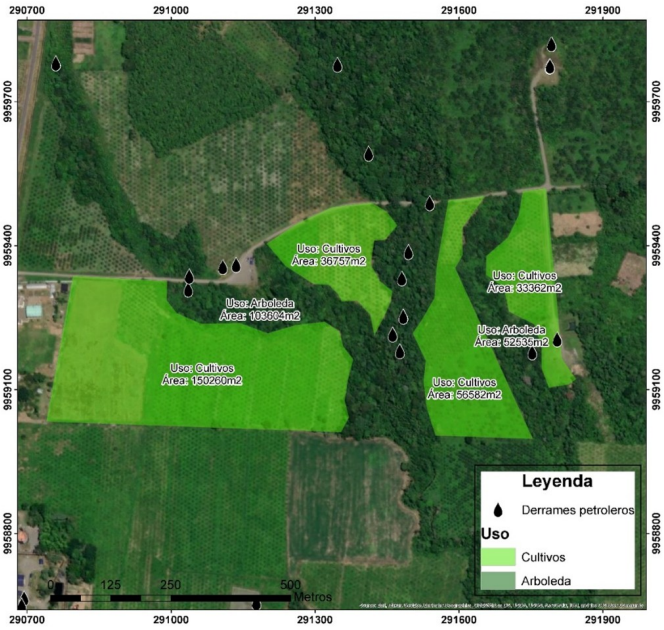


Figura 3 | Ubicación de área afectada – situación actual. Tomado de A. Mitiap y J. Calapucha (2024).

Se seleccionaron 11 especies con potencial fitorremediadora y de adaptarse a climas tropicales, las cuales son capaces de absorber y acumular contaminantes como metales pesados e hidrocarburos. En la **Tabla 1** presenta una variedad de especies fitorremediadoras junto con su capacidad para eliminar diferentes tipos de contaminantes.

3.2. Selección de las plantas fitorremediadoras

Las especies fitorremediadoras se caracteriza por su alta producción de biomasa y su amplia adaptabilidad ambiental de acumular selectivamente algunas(Marrero Coto et al, 2012). Las más conocidas son el Helianthus annuus (Girasol) hiperacumuladora de metales pesados Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), Leucaena leucocephala (Guaje) la acumulación de Cd y Pb, Verbena litoralis (Verbena) una mayor capacidad de fitorremediación de Pb y zinc (Zn), Tessaria integrifolia (aliso) acumulador biológico de Pb y Zn.

Según las características del área de estudio, se han seleccionado cuatro especies fitorremediadoras para llevar a cabo el proceso de revegetación. Las especies seleccionadas y su distribución en las diferentes zonas del área son las siguientes

Tabla 1 | Especies fitorremediadoras

Nombre científico	Nombre Común	Capacidad de eliminar los hidrocarburos	Tipo de contaminante
Helianthus annuus	Girasol	La planta se considera hiperacumuladora porque absorbe muchos metales pesados (Ríos et al. 2014).	Cd y Pb
Verbena litoralis	Verbena	Esta planta herbácea muestra una mayor capacidad de fitorremediación cuando se añade fertilizante al suelo y se expone a concentraciones bajas, específicamente al 3%, de petróleo (Bárcenas Calero, 2012).	Pb y Zn
Phaseolus vulgaris	Frijol	Tiene una alta tasa de crecimiento, produce una gran cantidad de biomasa y puede tolerar altas concentraciones de metales pesados como plomo y cadmio (Puente Encalada y Campoverde Rentería 2022)	Pb, Cd
L. leucocephala	Guaje	Se ha demostrado capacidad para degradar hidrocarburos al plantarlos en terrenos (Landero 2010).	Cd y Pb
Agrostis canina	Heno gris	Se trata de una planta que se emplea para restaurar suelos contaminado con metales pesados potencialmente perjudiciales (González-Chávez 2005).	Ni, Pb
Zea mays	Maíz	La especie Zea mays reduce el cadmio y plomo (Munive Cerrón et al. 2018).	Pb, Cd
Medicago sativa	Alfalfa	La concentración de plomo en sus raíces y hojas de la planta fluctuó entre 0,0 a 5,93 mg/Kg y de 0,0 a 10,80 mg/Kg respectivamente. Por otro lado, se observó una reducción de hasta el 3,22 % en la concentración de plomo en el suelo (Montes Choqueña 2019).	Pb
Agrostis capillaris	Pasto quila	Las opciones resistentes al Cd mejoran la absorción de metales (Futughe, Purchase y Jones 2020).	Zn, Ni, Cd
Anthyllis vulneraria	Hierba de la cuchillada	La planta absorber el plomo y el cadmio. Donde los metales se concentran en las raíces y hoja (Ubaldo et al. 2023).	Zn, Pb, Cd
Himatanthus sucuuba	Bellaco caspi	Incrementada capacidad de acumulación biológica de níquel (Ni) (Mego Maribel y Chipana Huauya 2018).	Ni
Tessaria integrifolia	aliso	Esta planta demuestra unas habilidades superiores con un nivel notable de tolerancia resiliencia y vigor aparente y una mayor	Pb y Zn

3.3. Área de Cultivo

3.3.1. Helianthus annuus (Girasol)

Esta especie arbustiva y heliófila se caracteriza por su capacidad para adaptarse a una amplia variedad de condiciones edafológicas y su resistencia a la luz solar directa. Además, sus flores amarillas brillantes ofrecen una característica visualmente llamativa (Ríos et al. 2014).

El girasol desempeña un papel esencial en los procedimientos de fitorremediación, ya que tiene la capacidad de acumular y reciclar elevadas cantidades de plomo y cadmio presentes en el suelo. Esto contribuye significativamente a la purificación del entorno. La planta tiene una capacidad de absorción entre 38 y 56% con respecto a suelos contaminados con plomo y cadmio (Peña Álvarez 2019). Principalmente en el tallo y la raíz, demostrando una tolerancia considerable a estos elementos (Chico Ruiz et al.2012). El girasol desempeña un papel esencial en los procedimientos de fitorremediación, ya que tiene la capacidad de acumular y reciclar elevadas cantidades de plomo y cadmio presentes en el suelo. Esto contribuye significativamente a la purificación del entorno. La planta tiene una capacidad de absorción entre 38 y 56% con respecto a suelos contaminados con plomo y cadmio (Peña Álvarez 2019). Principalmente en el tallo y la raíz, demostrando una tolerancia considerable a estos elementos (Chico Ruiz et al. 2012). La planta puede acumular considerables concentraciones de plomo y cadmio en sus tejidos, principalmente en el tallo y la raíz, demostrando una tolerancia considerable a estos elementos (Chico Ruiz et al. 2012). Tiene una capacidad de absorción entre 38 y 56% con respecto a suelos contaminados con plomo y cadmio (Peña Álvarez 2019).

3.3.2. Leucaena leucocephala (Guaje)

Arbusto heliófilo, capacidad adaptación a diferentes tipos de suelo. *L. leucocephala* es una de las mejores plantas para la fitorremediación y se utiliza para recuperar los suelos contaminados por sustancias orgánicas (Neira Guale, 2022). La acumulación de Cd y Pb en la planta aumentó de 1253,1 a 1863,5 mg / kg MS y de 1026,8 a 1343,4 mg / kg MS, respectivamente (Lizcano Gamboa 2020).

3.4. Área de Arboleda

3.4.1. Verbena litoralis (Verbena)

Especie herbácea se caracteriza por su capacidad de adaptarse a diversas condiciones edafológicas y su habilidad para crecer tanto en pleno sol como en condiciones de sombra parcial. Su naturaleza herbácea la hace adecuada para áreas de arboleda, donde puede proporcionar cobertura vegetal. Ha demostrado que sus raíces tienen un mayor crecimiento y característica fitorremediadoras tiene la capacidad de absorber los metales pesados (Camacho Veloz 2022). Tasa de degradación del contaminante establecida entre un rango del 13,2% al 17,4%, en suelo sometidos a una concentración del contaminante del 3% (Ramos Campoverde y Rivas Rodríguez 2016).

3.4.2. Tessaria integrifolia (aliso)

Especie herbácea y resistente, capacidad para adaptarse a diferentes tipos de suelo, tolerante a la sombra. Se destaca como el principal acumulador biológico de plomo (Pb) y zinc (Zn) en la biomasa, especialmente en condiciones de riego con agua de río a niveles más bajos. Esta planta podría considerarse como una potencial opción para la fitorremediación, contribuyendo así a la recuperación sostenible del entorno ambiental en la región amazónica (Rojas Albengrin, 2020). Capacidad de acumulación del contaminante de Cromo (cr) 7,19 mg/Kg en suelo en contaminados (Diaz Valencia 2019).

3.5. Discusión

A través del diagnóstico de la zona de estudio, se descubrió que gran parte del suelo está cubierto por derrames de petróleo y que estas áreas están destinadas para actividades agrícolas debido a la abundante vegetación. De las especies vegetales seleccionadas, *Helianthus annuus, Leucaena leucocephala, Verbena litoralis y Tessaria integrifolia* son las que presentan mayor abundancia de individuos en las zonas de los derrames de hidrocarburos, ya que tienen mejores aptitudes como fitorremediadoras debido a su capacidad de adaptación rápida, posiblemente debido a su condición de planta.

La propuesta de revegetación con especies fitorremediadoras en una zona contaminada por petróleo en la parroquia San Carlos tiene como objetivo principal la restauración del ecosistema y la mejora de la calidad del suelo y el agua en la zona afectada ambiental en la comunidad (Bárcenas Calero, 2012).

Según (Ríos et al. 2014), el estudio de investigación señala que el girasol acumula cantidades crecientes de cadmio (Cd) en sus órganos a medida que aumenta la contaminación de este metal en el suelo. Sin embargo, no se observan efectos negativos en la producción de biomasa (IT = 1) ni en la altura de la planta hasta alcanzar niveles de 25 mg de Cd por kilogramo de suelo. Se encontró que las raíces concentraron el 62.6% del total de la planta. Según los índices FBC >1 y FT <1, Helianthus annuus sería clasificado como una especie fitoestabilizadora hasta concentraciones de 25 mg de Cd por kilogramo de suelo.

3.6. Diseño del arreglo de la revegetación

Se sugiere comenzar con actividades de revegetación utilizando especies herbáceas autóctonas del área ya sea mediante plantación directa o dispersión de semilla (Rondón y Vidal 2005).

3.6.1. Preparación de suelo

Para aplicar revegetación se deberá preparar el suelo incorporando materia orgánica, que permite retener la humedad y mejora la actividad microbiana. Así, se puede hacer una buena mezcla de tierra, aserrín, guano de ovino, llama, alpaca, vacunos o cuy en 5:3:1, por cada 5 m3 de tierra se añade 3 m3 de aserrín y 1 m3 de guano (Valdivia et al. 2018).

3.6.2. Método de siembra

La siembra es la distribución de las semillas para establecer plántulas en la densidad y composición de especies deseadas.

Siembra de semillas en la superficie del suelo: Una de las formas más comunes de siembra es la dispersión de semillas, en el que las semillas se diseminan en la superficie del suelo con un dispersor rotativo mecánico o a mano (Rossi y González 2008).

Dispersión manual de semillas: La dispersión manual de semillas es un método utilizado en actividades de revegetación y restauración de ecosistemas para esparcirlas de manera manual sobre el suelo o área de interés**.** Aunque la siembra manual puede ser considerada como un método de baja tecnología, tiene un lugar importante en la revegetación (Vargas Ríos 2011).

3.6.3. Método de plantación

La plantación consiste en establecer una planta en el suelo, que ya ha pasado por un proceso de reproducción ya sea sexual o asexual. Para el arreglo de la plantación propuesta, se determinará una distancia de 1,5 m x 1,5 m, lo que resultará en 4,444 plantas por hectárea (Bornaz Torres 2023). Para el Girasol *(Helianthus annuus*), se recomienda colocar las plántulas a esta distancia entre sí y plantarlas en filas para facilitar su manejo y cuidado. Para garantizar un desarrollo radicular adecuado, se deberá cavar entre 25 y 30 cm de profundidad hasta que la plántula se establezca firmemente (Dalmasso 2010). Este mismo procedimiento se aplica al Guaje (*Leucaena leucocephala*), donde se requiere el mismo espaciamiento y método de plantación. Por otro lado, la Verbena (*Verbena litoralis*) puede ser plantada tanto en filas o disperso, manteniendo siempre una distancia de 1,5 m x 1,5 m entre plántulas. Asimismo, el Aliso (*Tessaria integrifolia*) puede ser plantado en filas o disperso, manteniendo el mismo espaciamiento recomendado **(Figura 4)**.

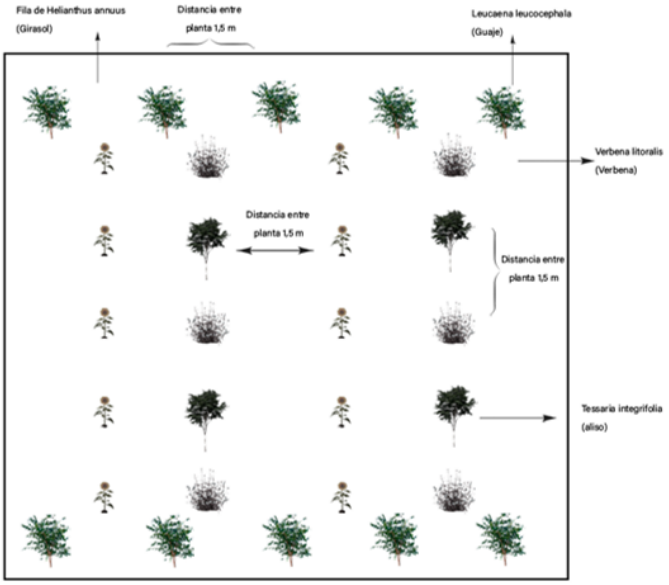


Figura 4 | Ubicación de plántulas para la revegetación con Girasol, Guaje, verbena y Aliso.

4. Conclusiones

En este estudio se abordó la problemática de la contaminación por hidrocarburos en la parroquia San Carlos, Cantón La Joya de los Sachas, con el objetivo de ofrecer una solución efectiva a través de la revegetación con especies fitorremediadoras. Los resultados obtenidos muestran el cumplimiento de la meta propuesta y son un aporte significativo para reducir los efectos negativos de la contaminación sobre el medio ambiente y la salud humana.

Combinando estos resultados, fue posible identificar y seleccionar especies vegetales capaces de absorber, degradar o estabilizar la contaminación por hidrocarburos en el suelo, como girasol (*Helianthus annuus*), guaje (*Leucaena leucocephala*), verbena. (*Verbena litoralis*) y aliso (*Tessaria integrifolia*). Se ha demostrado que estas especies pueden rehabilitar tierras degradadas por la contaminación de hidrocarburos y metales pesados por lo mismo ayudar a restaurar ecosistemas pobres y mejorar la ecología del área de estudio.

Se espera una visión a largo plazo de 5 años una vez establecida el proyecto de revegetación que, en el transcurso de este período, se observe una mejora significativa en la calidad del suelo, una reducción en los niveles de contaminación por hidrocarburos y una recuperación gradual de la biodiversidad.

Contribuciones de los autores

Anthony Adrián Mitiap Mayancha: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Jessica Noemí Calapucha Tanguila: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Maria Katharina Elisabeth de Decker: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

ACEVEDO SANDOVAL, OTILIO. fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación, 2011.

ANZULES, ÍTALO DEL CARMEN PALACIOS AND CASTRO, DENNY WILLIAM MORENO. Contaminación ambiental. Recimundo, 2022. Vol. 6, no. 2, p. 93–103.

BÁRCENAS CALERO,MIRIAM JANELA. Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación en cuatro especies vegetales nativas procedentes del sector Baeza-El Chaco, Ecuador, 2012.

BORNAZ TORRES, VALERI NICOLLE. Diagnóstico ambiental y propuesta de remediación para la laguna La Encantada en el departamento de Puno, 2023.

CAMACHO VELOZ, PAMELA ALEJANDRA. Aplicación de la fitorremediación en áreas afectadas por contaminantes en Ecuador, 2022.

CARRIQUIRIBORDE, PEDRO AND BAINY, AFONSO CELSO DIAS. Environmental toxicology and chemistry in Latin America. Environmental Toxicology and Chemistry, 2012. Vol. 31. Available from: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:1013329.

CHICO-RUIZ, JULIO, CERNA-REBAZA DE CHICO, L, RODRÍGUEZ-ESPEJO, MARLENE AND GUERRERO-PADILLA, MARLENE, 2012. Capacidad remediadora de la raíz de girasol, Helianthus annuus, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas, 2012. Vol. 32, no. 2, p. 13–9.

DALMASSO, ANTONIO. Revegetación de áreas degradadas con especies nativas. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. 1 June 2010. Vol. 45, p. 149–171.

DE BIZKAIA, DIPUTACIÓN FORAL. Estrategia para la protección, mejora y gestión de la biodiversidad en Bizkaia, 2015.

DELGADILLO-LÓPEZ, ANGÉLICA EVELIN, GONZÁLEZ-RAMÍREZ, CÉSAR ABELARDO, PRIETO-GARCÍA, FRANCISCO, VILLAGÓMEZ-IBARRA, JOSÉ ROBERTO AND ACEVEDO-SANDOVAL, OTILIO. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and subtropical agroecosystems, 2011. Vol. 14, no. 2, p. 597–612.

DIAZ VALENCIA, YSABEL. Fitoextracción de cromo en plantas de Chenopodium murale, Baccharis salicifolia, Eleocharis montevidensis y Tessaria integrifolia y su relacion con la respuesta fisiológica y bioquímica, 2019.

FUTUGHE, ANTHONY E, PURCHASE, DIANE AND JONES, HUW. Phytoremediation using native plants. Phytoremediation: In-situ Applications, 2020. P. 285–327.

GARCÍA-CASTILLO, ZORAIDA AND CASTILLO-ALANÍS, ALEJANDRA. El tráfico de hidrocarburos: un análisis químico-jurídico. Educación Química. 2022. Vol. 33, no. 4, p. 36–49.

GARZÓN, JENNYFER M, RODRÍGUEZ-MIRANDA, JUAN PABLO AND HERNÁNDEZ-GÓMEZ, CATALINA. Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. Universidad y salud. 2017. Vol. 19, no. 2, p. 309–318.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO PARROQUIAL DE SAN CARLOS. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Carlos 2019-2023. Online. 2019. Available from: https://www.sancarlos.gob.ec/component/fileman/file/PDOT%20San%20Carlos%20ACTUALLIZADO.pdf.html?routed=1&container=fileman-files.

GONZAGA, GIORDANO BRUNO MEDEIROS, DA SILVA FILHO, PAULO SÉRGIO LINS, FELISMINO, TALVANES LIMA, DA SILVA SANTOS, JOSÉ ÍTALO GONÇALVES, FELISMINO, AILTON LIMA, DA SILVA, ANE KAROLAINE AND DA SILVA, DÉCIO MANOEL GOMES. Análise das propriedades físico-químicas do petróleo dos campos de pilar/al e carmópolis/se. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, 2020. Vol. 6, no. 1, p. 53–53.

GONZÁLEZ-CHÁVEZ, MA DEL CARMEN ÁNGELES. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. Terra Latinoamericana, 2005. Vol. 23, no. 1, p. 29–37.

JARA-PEÑA, ENOC, GÓMEZ, JOSÉ, MONTOYA, HAYDEÉ, CHANCO, MAGDA, MARIANO, MAURO AND CANO, NOEMA.Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Revista peruana de biología, 2014. Vol. 21, no. 2, p. 145–154.

LANDERO, CRUZ. Especies de leguminosas como fitorremediadoras en suelos contaminados, 2010.

LIZCANO GAMBOA, JANETH ANDREA. Análisis teórico de las técnicas mixtas de nano-biorremediación en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, 2020.

LOAYZA VARGAS, MARÍA FERNANDA. Eficiencia degradativa de tres especies de hongos benéficos Aspergillus Niger, Thichoderma Harzianum y Paecilomyces Lilacinus sobre suelos contaminados con petróleo en la parroquia San Carlos del cantón Joya de los Sachas, 2017.

LOZADA, JOSÉ RAFAEL. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. In: Online, 2014. Available from: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:14929204.

MARRERO-COTO, JEANNETTE, AMORES-SÁNCHEZ, ISIS AND COTO-PÉREZ, ORQUÍDEA. Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 2012. Vol. 46, no. 3, p. 52–61.

MATTEUCCI, SILVIA DIANA. De bosque y arboledas: la importancia del contexto. 2012.

MEGO MARIBEL, POSITO AND CHIPANA HUAUYA, NORMA MARIBEL. Efecto antibacteriano del extracto etanólico de la corteza del bellaco caspi (himatanthus tarapotensis) en cultivos de “staphylococcus aureus” estudio in vitro, 2018.

MERCADO CHINCHAY, SUSANA AND MORALES PALACIOS, GUSTAVO LEONARDO. Revisión bibliográfica del uso de plantas fitorremediadoras en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, 2021.

MEZA QUISPE, BRAHYAN MARIO AND MOLINA LLANCO, NAYHELI. Efecto de la capacidad fitorremediadora de la papa (Solanum ajanhuiri) en el porcentaje de remoción de mercurio y plomo, 2023.

MONTANO, YEIDY, TAPIA, PEDRO M, FOW, ANTHONY AND FUENTEALBA, BEATRIZ. Fitorremediación. Una alternativa para tratar la contaminación ambiental, 2022.

MONTES CHOQUEÑA, JUAN DAVID. Evaluación de la capacidad fitoextractora en Medicago Sativa L. Para disminuir la concentración de plomo en suelos contaminados con relaves mineros ubicados en el distrito de Coayllo, Cañete-Lima, Perú, 2019.

MUNIVE CERRÓN, RUBÉN, LOLI FIGUEROA, OSCAR, AZABACHE LEYTON, ANDRÉS AND GAMARRA SÁNCHEZ, GILBERTO. Fitorremediación con Maíz (Zea mays L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. Scientia Agropecuaria. 2018. Vol. 9, no. 4, p. 551–560.

NEIRA GUALE, IVETH VIVIANA. Uso de fabáceas como alternativa de fitorremediación de suelos contaminados por petróleo en la provincia de Santa Elena, 2022.

OBANDO, VILMA. Gestión del Patrimonio Conservación y biodiversidad: resultados de la gestión ambiental, 2009.

PEÑA ALVAREZ, IVONNE MARGARITA. Evaluación de la capacidad de absorción del helianthus annuus, como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo, 2019.

PUENTE ENCALADA, JESSENIA ALEXANDRA AND CAMPOVERDE RENTERÍA, KEVIN ISMAEL. Evaluación de la capacidad de fitorremediación y tolerancia de un suelo contaminado por hidrocarburos, en el sector San José, cantón Cuyabeno, provincia de Sucumbíos, utilizando Phaseolus Vulgaris, Zea Mays, Sorghum Vulgare y Panicum Máximum JACQ, 2022.

RAMOS CAMPOVERDE, GALO ENRIQUE AND RIVAS RODRÍGUEZ, JUAN CARLOS. Identificación y evaluación del potencial fitorremediador de especies vegetales presentes en el suelo contaminado por grasas y aceites lubricantes en la lavadora y lubricadora marifer de la ciudad de Zamora, 2016.

RÍOS, HILDEBRANDO BUENDÍA, REYES, FRAY CRUZ REYES CRUZ, ARQUIÑIGO, CARLOS MEZA AND ZUMAETA, JUAN ARÉVALO. Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. Alma máter segunda época, 2014. No. 1, p. 113–121.

ROJAS ALBENGRIN, RODRIGO. Evaluación de la rizoabsorción en plantas (Tessaria integrifolia L., Ricinus communis L. y Piper aduncum L.) de ribera del río Tulumayo (Chanchamayo, Junín) influenciadas por efluentes mineros, 2020.

SILVA, JOSÉ FELÍCIO DA. Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados, 2012.

SUAREZ BELTRÁN, ROLAND MAURICIO. Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos, 2013.

TORREBADELLA, XAVIER TORREBADELLA. La historia de la educación física escolar en España. Una revisión bibliográfica transversal para incitar a una historia social y crítica de la educación física. Espacio, Tiempo y Educación, 2017. Vol. 4, no. 1, p. 14.

UBALDO, DANIEL SANTOS, MACUIL, RAÚL J DELGADO, RODRÍGUEZ, ANGÉLICA ROMERO AND SIERRA, ANDRÉS CASTRO. Fitorremediación de metales fitorremediación de metales pesados en ambientes pesados en ambientes contaminados: una revisión. contaminados: una revisión, 2023.

VELASQUEZ HINESTROZA, LADY CATHERINE AND GALEANO FLORÉZ, JULIANA. Evaluación de la fitorremediación como estrategia de Responsabilidad Social Empresarial en industrias cosméticas en la ciudad de Bogotá, Colombia 2021.

VILLACRES MANZANO, EDUARDO SANTIAGO. Análisis Toxicológico de Hidrocarburos Aplicado a la Salud Ocupacional 2015.

RONDÓN, JOSÉ A AND VIDAL, RAÚL. Establecimiento de la cubierta vegetal en áreas degradadas (principios y métodos). Revista forestal latinoamericana. 2005. Vol. 20, no. 38, p. 63–82.

ROSSI, CARLOS AND GONZÁLEZ, SILVANA. Calidad de semillas: Factores a tener en cuenta para asegurar la siembra de semillas libres de enfermedades. IN: Jornada Técnica de Cultivos de invierno. Serie Actividades de Difusión. 2008. No. 531, p. 71–74. VALDIVIA, JANET EDITH GONZALES, DEL PILAR APONTE, MARÍA, BUSTAMANTE, EVA AND CHOMBA, JULEISY. Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa “Medicago sativa.” Searching-Science. 2018. Vol. 1, no. 1.

VARGAS RÍOS, ORLANDO. Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. Acta biológica colombiana. 2011. Vol. 16, no. 2, p. 221–246.