



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Evaluación del *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) en la  
fitorremediación de suelos agrícolas contaminados por metales  
pesados en Chiclayo - Lambayeque

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Lama Chuzon Ruben Dario (ORCID: 0000-0001-6744-5723)

Valencia Jimenez Jose Camilo (ORCID: 0000-0002-0230-2673)

**ASESOR:**

Dr. Arbulú López César Augusto (ORCID: 0000-0002-1120-0978)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**CHICLAYO – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

Dedicatoria especial para mi persona por el esfuerzo, la constancia y la dedicación para sacar adelante esta investigación.

También esta investigación es dedicada a mis padres y familiares que han influido en mi proceso educativo y que han sido pilar fundamental tanto económica como emocionalmente.

### ***José Camilo***

Este trabajo de investigación está dedicado especialmente a mi padre que me dio la seguridad para seguir adelante y ahora que él no está con nosotros, desde el cielo me está guiando, a mi madre que con su amor incondicional siempre me dio ánimos para no rendirme a mi hermano que con tus pequeñas frases me daba confianza, a mi compañero Camilo por siempre poner su hombro en esta investigación a mis amigos por esos buenos deseos, a Dios por permitir concluir esta investigación de manera exitosa.

***Rubén Darío***

## **Agradecimiento**

Agradecimiento especial a la universidad Cesar Vallejo por facilitar los medios necesarios para este proceso de formación académica.

Al doctor César Arbulú López por brindar la asesoría y compartir los conocimientos para el desarrollo de esta investigación

Agradecer también a los investigadores citados en esta investigación por los aportes significativos en el área de la investigación y por permitir que la información sea divulgada.

***José Camilo y Rubén Darío***

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>15</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	15
3.2. Variables y operacionalización .....	16
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis .....	17
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	18
3.5. Procedimientos .....	20
3.6. Método de análisis .....	20
3.7. Aspectos éticos .....	20
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>30</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>38</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> <i>Resultados</i> .....	22
---	----

## Índice de figuras

<i>Figura 1:</i> Hiperacumulación de metales pesados en mg/kg de materia vegetal ..	24
<i>Figura 2:</i> Remediación total del suelo expresado en kg/h y en porcentaje .....	24
<i>Figura 3:</i> Análisis de dispersión entre los resultados de esta investigación y la realizada por Galic et al. (2019) .....	25
<i>Figura 4:</i> Resultados obtenidos por Galic et al (2019) para la acumulación de metales pesados .....	26
<i>Figura 5:</i> Resultados obtenidos por Galic et al. (2019) para la fitorremediación del suelo.....	26

## Resumen

Se realizó una investigación aplicada basada en el análisis documental, con el objetivo de determinar la efectividad del *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) en la fitorremediación de suelos agrícolas contaminados por metales pesados en Chiclayo Lambayeque Perú. El diseño de la investigación es de carácter cuantitativo, de tipo no experimental, por medio de una revisión y análisis documental se empleó como instrumento el modelo de metadatos Dublín Core, (DC) apoyado en la plataforma crossref para obtener los datos cuantitativos de las investigaciones. Se realizó una prueba piloto con 3 investigaciones, aplicando el modelo convencional de ficha documental y el modelo de metadatos (DC), luego se procesó una muestra de 27 investigaciones con el método más eficiente. La información fue procesada a partir de la obtención de los metadatos y los resultados cuantitativos para su posterior análisis aplicando la estadística descriptiva. Como resultado se obtuvo información que confirman la hipótesis planteada logrando evidenciar una traslocación de metales pesados a diferentes órganos de la planta. Finalmente se concluyó que además de su capacidad de hiperacumular metales pesados, y mejorar la calidad del suelo, también es de gran valor para diferentes aplicaciones industriales debido al valor energético de su biomasa.

**Palabras clave:** *Cannabis Sativa L*, fitorremediación, contaminación, metales pesados.

## **Abstract**

An applied research was carried out based on documentary analysis, with the aim of determining the effectiveness of *Cannabis Sativa L* (industrial hemp) in the phytoremediation of agricultural soils contaminated by heavy metals in Chiclayo Lambayeque Peru. The research design is quantitative, non-experimental in nature, Through a documentary review and analysis, the Dublin Core metadata model (DC) supported by the crossref platform was used as an instrument to obtain quantitative research data. A pilot test was carried out with 3 investigations, applying the conventional document file model and the metadata model (DC), then a sample of 27 investigations was processed with the most efficient method. The information was processed from the obtaining of the metadata and the quantitative results for its subsequent analysis applying the descriptive statistics. As a result, information was obtained that confirms the hypothesis proposed, evidencing a translocation of heavy metals to different organs of the plant. Finally, it was concluded that in addition to its ability to hyperaccumulate heavy metals, and improve soil quality, it is also of great value for different industrial applications due to the energy value of its biomass.

**Keywords:** *Cannabis Sativa L*, phytoremediation, pollution, heavy metals.

## I. INTRODUCCIÓN

El problema de la contaminación en los suelos del Perú durante los últimos años ha tomado mayor relevancia, debido a que las consecuencias de esta problemática se hacen más graves y evidentes con el pasar del tiempo. Entre los principales causantes de esta problemática está la aplicación de productos agroquímicos, para potencializar la agricultura industrial provocando una serie de consecuencias ambientales, problemas ecológicos, como la contaminación de los alimentos cosechados y la degradación del suelo imposibilitando su uso como bien de consumo.

Debido a estos cambios antropológicos negativos, los gobiernos han abordado políticas con la intención de proteger el medio ambiente y globalmente se han desarrollado nuevas tecnologías para tratar los suelos contaminados por metales pesados, los cuales requieren un elevado costo de inversión.

En el ámbito internacional el programa de la FAO Land degradation assessment in drylands (2011) indica que la principal causa de la degradación del suelo debido a las actividades antropogénicas son la deforestación, el sobrepastoreo y el uso de agroquímicos. El Perú presenta una degradación moderada, severa y muy severa del 54%, mucho más que países como México, Chile y Brasil

En la actualidad los suelos de aptitud agrícola son el recurso natural más escaso en el Perú, contando con solo un 7% del territorio nacional. Brack y Mendiola (1997) también son los más amenazados debido a la erosión, la salinización y la contaminación por el uso de insumos agrícolas utilizados como controladores de plagas y enfermedades en los cultivos.

Según Sánchez y Sánchez (1984) considera que: “los plaguicidas son compuestos químicos que se emplean para aplicar y controlar los diferentes parásitos y enfermedades que atacan los cultivos, se clasifican según su actividad biológica en insecticidas, herbicidas, fungicidas y rodenticidas, estos a su vez se clasifican por su toxicidad”.

Así también este problema ha tenido un curso histórico ascendente desde hace 50 años luego de que la reforma agraria, provocara que algunos campesinos establecieran monocultivos, empezaron a usar de forma inadecuada demasiados agroquímicos y fertilizantes en sus productos, para que estos fueran escogidos como los mejores y así entrar en el mercado de las agroexportaciones, además el uso de estos químicos representaba un ahorro en los gastos de la producción.

Según el Ministerio de agricultura, la producción agropecuaria tiene una proyección de crecimiento del 4.1% para el 2021. Minagri (2019). Debido a esta expansión agrícola se espera que el uso de agroquímicos y la sobreexplotación del suelo siga en aumento, provocando un mayor grado de contaminación del suelo, lo que también conlleva a una mayor producción agrícola disminuyendo la calidad de la producción y causando enfermedades a los consumidores.

En el departamento de Lambayeque los suelos agrícolas están destinados al bienestar económico, a la producción alimenticia y materiales primarios para la industria, los productos más destacables son el maíz, variedades de frijol, arroz, trigo, algodón, sorgo, entre otros, además también son destinados al uso agropecuario, forestal y urbano. Una gran parte de los terrenos no presentan uso debido a problemas de salinización y tierras eriazas.

Frente a la problemática descrita anteriormente esta investigación tiene el objetivo de evaluar el *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) para fitorremediar suelos degradados por metales pesados, por lo cual formulamos la siguiente pregunta: ¿De qué manera el cáñamo industrial permite la remediación de los suelos agrícolas contaminado por metales pesados?

La presente investigación nos lleva a señalar las razones por las cuales es necesario realizar esta investigación que busca cambiar el paradigma existente sobre la planta *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) abordando el tema desde un punto de vista ecológico y sustentable con el fin de plantear soluciones viables y económicas para la recuperación de los suelos agrícolas, siendo importante recalcar las propiedades del cáñamo industrial el cual se puede materializar para la producción de fibras textiles, papel, alimentos, combustible, medicamentos además de su potencial absorbente y bioacumulante de metales pesados.

De esta manera la investigación plantea como objetivo general: Determinar la efectividad del *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) para la fitorremediación de suelos agrícolas, degradados por metales pesados. Siendo sus objetivos específicos los siguientes: Describir las cualidades y potencialidades del *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) como planta hiperacumuladora de metales pesados para tratar los suelos contaminados y como insumo primario para la industria. Comparar la capacidad de absorción y bioacumulación del *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) frente a otras especies mediante técnicas de biorremediación. Analizar usos y empleabilidad de la masa vegetal del *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) producto del proceso de fitorremediación.

Así mismo se plantea la siguiente hipótesis de investigación: Hi: La aplicación del *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) es efectivo para remediar suelos agrícolas, contaminados por metales pesados porque hiperacumula los contaminantes mejorando la calidad del suelo.

## II. MARCO TEÓRICO

Para la elaboración de esta investigación se recolectó información de diferentes bases de datos como Dialnet, Scielo, Scopus, Google académico, de donde se obtuvo diferentes tipos de recursos como tesis, revistas, artículo y libros electrónicos encontrando antecedentes de tipo nacional e internacional mencionados a continuación:

La provincia de Chiclayo, ubicada en la costa norte del Perú, es característica por la producción de caña de azúcar, arroz, maíz, algodón y otros, los cuales son aptos para estos tipos de suelo, el tipo de tierras predominante son las de tipo A1, conocidas como tierras agrícolas de alta calidad para la producción, estas tierras son de explotación intensiva, cuyo único factor limitante es la necesidad de agua por sistema de riego, la extensión es de 1019,69 metros cuadrados.

El uso de productos agroquímicos, es el factor común entre los productores industriales y los productores a baja escala, que buscan obtener mayor rendimiento en sus cultivos, sin embargo la aplicación de estos productos para diferentes fines ocasiona la retención del 50 % del producto en el suelo, en el caso de los herbicidas debido a su aplicación directa la retención puede ser mayor, el contaminante también puede ser distribuido por acciones naturales como precipitaciones, estos productos posteriormente entran en un proceso de degradación.

Latencia: es generalmente de corta duración, manteniendo el plaguicida a determinada concentración.

Disipación: por lo general es relativamente rápida, dependiendo de factores climáticos.

Persistencia: el contaminante introducido es de lenta degradación.

La movilidad de los contaminantes es determinada por el tipo de suelo, siendo los suelos arcillosos los que retiene el contaminante mientras que frente a un suelo arenoso y limoso la filtración de contaminantes se produce hacia la napa freática, otro factor muy importante es el potencial de hidrógeno (ph) (tabla 1)

La movilidad, disponibilidad y la fuerza de retención de cada metal pesado, es variable en función de la forma que está presente en el suelo.

Según Rostami y Azhdarpoor, (como se citó en Gonzales et al. 2021) Los metales pesados poseen un número atómico de 63.54 a 200.59 y su peso específico es mayor a 4g/cm<sup>3</sup>. A estos metales los encontramos en formas iónicas o coloidales que en su mayoría son solubles por el suelo. No son biodegradables, por lo tanto, permanecen en el suelo durante mucho tiempo la concentración en el suelo de estos metales se encuentra en un rango de 1 a 100,000 mg/kg

Los metales pesados están presentes en diferentes concentraciones y estados mencionados a continuación:

- Disueltos en el suelo
- Retenidos débilmente en constituyentes orgánicos e inorgánicos
- Retenidos fuertemente en constituyentes inorgánicos
- En asociación con materia orgánica insoluble
- Precipitaciones de mezcla de compuestos
- En las estructuras minerales secundarias
- En estructuras minerales primarias

La fuerza de retención de un metal en el suelo, y por tanto su movilidad y disponibilidad, varía en función de la forma en que se presente.

Para abordar estos problemas de contaminación existen diferentes procesos de remediación como la Fitoextracción, Fitovolatilización Fitodegradación, Fitoestabilización, Fitoestimulación. Y sus mecanismos (Tabla 2)

Así lo explica Delgadillo et al (2010) quien menciona que: “La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo”. Las técnicas de fitorremediación tienen

numerosas ventajas en relación con la aplicación de métodos fisicoquímicos, la principalmente son los bajos costos.

*Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) es una planta muy controversial también conocida como marihuana. (Angeles, Brindis, Niizawa, Ventura 2014, párr.7) en su trabajo de investigación menciona que:

*Cannabis Sativa L*. Es una planta herbácea anual, que puede alcanzar hasta los 4 metros de alto, dioica, de tallo recto, hojas anchas y palmadas, las hojas se encuentran sobre peciolos, que pueden alcanzar los 7 cm de largo, las hojas están compuestas de 3 a 9 folios, de ápice muy agudo con márgenes cerrados, los tricomas glandulares se encuentran recostados sobre el revés de la hoja y poseen un color más claro.

Como mecanismo de defensa los tricomas producen una resina que los protege de agresiones externas, también genera inflorescencias en las hojas y ramas superiores, las inflorescencias femeninas producen pocas flores pero de gran densidad, con perianto membráceo y entero pegado al ovario, mientras que las masculinas producen muchas flores ramificadas y laxas, son pediculadas con perianto de cinco sépalos, con un solo ovulo y dos estigmas, su semilla es ovoide comprimida de color blanco verdoso, teñido sutilmente de púrpura y encerrado en el perianto.

Según Kitrytè et al. (como se citó en Manosalva, Dávila, Quintero 2020, p.52) en su trabajo de investigación, indica que:

El *Cannabis Sativa L*. Más conocido como cáñamo industrial es un material orgánico que presenta concentraciones significativas de polisacáridos (lignina, hemicelulosa y celulosa), los cuales son componentes básicos de sus fibras naturales. Esta especie además contiene extractos y otros compuestos que pueden ser de mucha utilidad para darle un valor agregado a muchos productos.

Al hablar de las propiedades del cáñamo industrial y su regulación, surge la duda si cáñamo y marihuana es lo mismo. Al ser una planta dioica tiene la característica

de producir flores hembra y flores macho las cuales son muy variables en su composición y por tanto en su uso. (figura1).

Mas allá, de las aplicaciones en la medicina, la planta de cannabis sativa es muy versátil y tiene muchas más aplicaciones en la industria, así lo afirma (ICAN Connect to cannabis 2020) en la segunda entrega de la serie (ABC del cáñamo), menciona que: “Esta planta se puede usar como alimento, en la industria textil y en otras industrias sin causar grandes estragos al medioambiente, por el contrario, esta planta es de gran ayuda para el desarrollo sostenible, ya sea que se transforme en alimento, ropa o autopartes, la producción de cáñamo, contribuye a limpiar los suelos e incluso beneficia las colonias de abejas que se han visto amenazadas por la aplicación de pesticidas, la erosión y destrucción medioambiental”

Según la finalidad del cultivo ya sea para fitorremediación y/o producción y manufactura de los subproductos a partir del cannabis sativa, se elige la variedad de planta a utilizar.

La EIHA con ayuda de los principales productores de Europa elaboraron una tabla con las principales variedades, los principales usos, así como la zona climática donde se tienen mejor desarrollo la planta (Tabla 7)

Desde el punto de vista del medio ambiente, la introducción del cáñamo en la agricultura resulta también beneficiosa. En el proceso de transpiración, las plantas de cáñamo en crecimiento respiran CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) para formar su estructura celular; el oxígeno restante que se expulsa recarga las reservas de aire de la tierra. (Es un gran “sumidero” de carbono por la cantidad de CO<sub>2</sub> que fija - 7.000 kilogramos por hectárea). Este producto, el cáñamo y sus derivados industrializados, pueden remplazar a la fibra de vidrio en muchos de sus usos más comunes y a muchos otros productos fabricados con los derivados del petróleo.

El *Cannabis Sativa L.*, es aprovechable toda su masa vegetal, los productos manufacturados a base cáñamo industrial en el mercado global hacen a 25.000 productos divididos en 9 submercados. (figura 2):

- Agricultura
- Textil
- Reciclaje
- Automotriz
- Mueblería
- Alimenticia
- Papel
- Construcción
- Cuidado personal

También el aprovechamiento energético de la biomasa del cáñamo industrial,

La biomasa se define como la materia orgánica originada en un proceso biológico utilizable como fuente de energía, de esta manera el cáñamo puede ser utilizado como fuente de energía. Los combustibles y aceites vegetales pueden ser sustituyentes de los derivados fósiles, también es útil como

Carbón vegetal y Metanol, los procesos utilizados son la pirolisis, combustión y gasificación. (figura 6)

Potencial de los biocombustibles como parte de la adaptación al cambio climático, en teoría supone emisiones neutras porque el mismo CO<sub>2</sub> que se libera es el que la planta capto en su fase de crecimiento, además en comparación los combustibles fósiles generan un 39% menos dióxido de carbono

Actualmente el biocombustible de primera generación es comercial, según Askew 2003 (como se citó en Torrentes 2021) se han identificado al menos unos 350 cultivos oleaginosos,

Como posibles fuentes de producción de biodiesel de primera generación.

Por su parte, el fomento del consumo de biocombustibles se ha fomentado a través de la fijación del cronograma de aplicación del uso de biocombustibles a nivel nacional.

El Decreto Supremo (D.S.) N° 021-2007-EM establece que el porcentaje en volumen de Alcohol Carburante en la mezcla gasolina – alcohol carburante que podrá comercializarse en el país será de 7.8% y se le denominará Gasohol, según el grado de octanaje: Gasohol 97 Plus, Gasohol 95 Plus, Gasohol 90 Plus y Gasohol 84 Plus. Además, mediante el citado D.S., se establece que el Gasohol podrá ser comercializado en todo el país, en las condiciones establecidas en la norma y a partir del 1 de enero del 2010, el Gasohol será de uso obligatorio en todo el país y remplazará a todas las gasolinas de motor.

Manaia, Manaia, Rodrigues (2019) en su investigación titulada “Industrial hemp fibers an overview” concluye que:

El *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) se ha investigado exhaustivamente en los últimos años para el desarrollo de nuevos materiales y está recibiendo más atención como un posible reemplazo alternativo para fibras sintéticas. El interés está garantizado debido a su baja densidad, alta resistencia específica y rigidez, así como el hecho de que las fibras de cáñamo tienen un costo relativamente bajo, provienen de recursos renovables y los desechos son 100% biodegradable. Sin embargo, las principales desventajas de las fibras de cáñamo son sus propiedades hidrófilas heredadas, baja resistencia a los microorganismos, baja estabilidad térmica y variabilidad en sus propiedades porque dependen de las condiciones de crecimiento y madurez.

El cultivo de *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) representa no solo una gran herramienta para la recuperación de los suelos contaminados por el uso de agroquímicos, sino que también es una de las plantas más multifacéticas que existen en cuanto a su producción se refiere.

Según Manosalva, Dávila y Quintero (2020) afirman que “en Colombia se han proyectado inversiones de millones de dólares por parte de multinacionales las cuales ven en el país un punto focal para la producir, comercializar y exportar productos a base de cáñamo industrial, cannabis no psicoactivo”. En otros países que poseen las condiciones climáticas y legales apropiadas para producción de cannabis, realizan millonarias inversiones dirigidas al sector agrícola.

El incremento en la producción de alimentos que evita los procesos de degradación natural en los suelos agrícolas, se ha convertido en uno de los más significantes retos a nivel global. Por esta razón, el desarrollo de nuevas técnicas de laboreo o estrategias de cultivo de forma sostenible es uno de los más importantes campos de investigación en agricultura.

En los últimos años la contaminación del suelo agrícola ha aumentado. Según Huang, et al. (citado por Cortes, Martín y Sarria, 2017, p.43) en su investigación señala que: “Su acumulación se debe a la intemperización del material parental y principalmente por actividades antropogénicas como la deposición de residuos industriales y domésticos”. También otras actividades humanas como los pasivos mineros y la implementación de productos agroquímicos son la causa principal de la degradación por contaminantes en el suelo.

Al hablar de contaminación se debe tener en cuenta que esta puede ser de origen antropogénico o de origen geogénico, Lara (2018) en su trabajo de investigación menciona que “La contaminación de origen geogénico, puede ser provocada por la propia roca madre que se formó en el suelo, la actividad volcánica o el lixiviado de mineralización” (p.11), por otro lado los elementos más contaminantes provienen de las actividades antropogénicas, como las agrícolas, mineras y los residuos urbanos entre otros.

Después de su aplicación en el suelo los plaguicidas pasan por un proceso que determina el nivel de contaminación que genera, su persistencia y su movilidad hacia otros lugares por acción del viento o la lluvia. Ortiz (2019) indica que “dentro de los procesos hay que destacar: 1. Proceso de transferencia o transporte. 2. Procesos de transformación” (p.2)

Así mismo el autor Ortiz (citado por Calderón, 2017, p.2) afirma que “En la actualidad no solo se usan en la agricultura, también son de gran importancia en silvicultura, producción ganadera y acuicultura en el control de plagas y enfermedades que estas pueden transmitir” aunque en la actualidad algunas tendencias ecológicas como la agricultura orgánica, buscan imponerse debido a los parámetros exigidos por la sanidad alimentaria, en la mayoría de superficies agrícolas se siguen implementando los agroquímicos.

Por otro lado la implementación de biotecnologías para la biorremediación de suelos y aguas contaminadas, son objeto importante de estudio para muchos investigadores así lo afirma Valverde (2019) “Hace décadas, utilizar plantas para remediar la contaminación de suelos por metales pesados se ha convertido en un reto y ha generado gran interés por instituciones del gobierno y el sector privado” (p.7), esta afirmación es apoyada a nivel internacional por Covarrubias, Peña (2017) el cual menciona que “La contaminación por metales pesados en México es un tema que ha recibido poca cobertura (...) Sin embargo recientemente se ha incrementado el número de reportes científicos, donde se ilustra la relevancia de la aplicación de la biotecnología en estudios de biorremediación” (p.16). Se destaca el uso de biorremediación a partir del uso de microorganismos y la fitorremediación por medio del uso de plantas, que poseen cualidades destacadas para absorber y acumular contaminantes.

Según Baker (como se citó en Covarrubias, Peña 2017) menciona que “Las plantas al ser expuestas a metales pesados pueden presentar diferentes respuestas fisiológicas, las cuales varían dependiendo de la especie de la planta, el metal específico al que es expuesta y la concentración en el suelo del mismo” dependiendo de la respuesta fisiológica se pueden clasificar como acumuladoras, excluyentes e indicatoras.

La Hiperacumulación en las plantas es una propiedad que les permite transformar y acumular diferentes tipos de compuestos tóxicos presentes en el suelo agua y aire, su capacidad bioacumuladora es medida en función de la tasa de acumulación del contaminante y la tasa de crecimiento de la planta, los resultados pueden ser muy variables dependiendo las cualidades fitorremediadoras del tipo de planta a usar, existe una variedad de géneros empleados en la fitorremediación y otros aun es estudio

Otro factor a tener en cuenta son los métodos de análisis empleados en la fase de laboratorio Ferrarini et al (2021) en su investigación (fitorremediación bioaumentada de suelos y sedimentos contaminados con metales mediante cáñamo y junco gigante) en el compara los resultados obtenidos mediante tres métodos diferentes. (Figura 3)

Debido a que los requerimientos de eliminación de contaminantes en el suelo son cada vez mayores, algunas plantas logran la adaptación fisiológica al medio en donde se desarrollan, aunque dependiendo de la concentración de metales pesados la planta puede sufrir de estrés e inhibir su crecimiento, su capacidad de adaptación le permite obtener los medios básicos para su desarrollo.

Por medio de investigaciones se ha logrado la identificación de varias especies con propiedades biorremediadoras, las más destacadas son las hiperacumuladoras debido a su capacidad de acumular metales pesados, según Delgadillo (2011) “Por definición, estas plantas deben acumular al menos 100 µg/g (0.01 % peso seco) de Cd y As; 1000 µg/g (0.1 % peso seco) de Co, Cu, Cr, Ni y Pb; y 10 000 µg/g (1.0 % peso seco) de Zn.”

Según Peña, Madera, Sánchez y Medina (2005) “Entre las especies de plantas más usadas están las especies de la familia Brassicaceae, las plantas acuáticas de género *Eichornia*, *Juncus*, *Lemma* y *Typha*” (p 472.) Entre otras detalladas en (tabla 3)

En la investigación realizada por Prasad, (como se citó en Peña, et al. 2013) recomienda que “Al momento de seleccionar una planta para biorremediar, es importante tener en cuenta sus requerimientos fisiológicos de crecimiento y su condición de planta nativa o introducida, para evaluar su espectro de distribución” debido a esta recomendación las plantas de origen nativo y la biodiversidad tropical en general, son estudiadas a profundidad con el fin de identificar su potencial para biorremediar la contaminación generada antropogénicamente.

Una de las especies de plantas más destacadas debido a su capacidad de hiperacumular metales pesados es el *Cannabis Sativa L.* Conocida popularmente como (cáñamo) planta macho y (marihuana) planta hembra. Según Méndez (2018) indica que “En 1753 el famoso botánico suizo y padre de la taxonomía Carl Linnaeus reconoció y nombró la especie *Cannabis Sativa L.* (*C. Sativa*) como un cultivo en su trabajo llamado *Systema naturae*” (p.7), a partir de la investigación realizada por Linnaeus, se empezó a utilizar la taxonomía (*Cannabis Sativa L.*) en honor al propio Carl Linnaeus.

En la presente investigación consideraremos los siguientes términos: *Cannabis Sativa* L, Biorremediación, acumulación, Hiperacumulacion, fitorremediación, suelos agrícolas, Contaminación, metales pesados.

El término “Biorremediación” se refiere a un proceso biotecnológico donde se utilizan organismos vivos, enzimas, hongos o plantas para recuperar un ambiente alterado de su condición natural por efecto de contaminantes.

La fitorremediación hace parte de un grupo de tecnologías de aplicación ex situ e in situ que por medio de los procesos bioquímicos que realizan las plantas, logran reducir diversos compuestos.

Dependiendo de la planta y su acción fisiológica se puede lograr la fitorremediación a partir de diferentes procesos como Fitoextracción, Fitodegradación Fitoestabilización Fitovolatilización y/o rizorremediación

A través de la manipulación genética estas tecnologías pueden aumentar su efectividad y así mejorar la capacidad fitorremediadora de las plantas, se han desarrollado organismos genéticamente modificados con una capacidad más elevada de acumular metales pesados y degradar contaminantes.

La taxonomía oficial del cáñamo industrial es “*Cannabis Sativa L*” haciendo referencia al botánico suizo Carl Linneaus. El cáñamo o marihuana como se le conoce popularmente pertenece a la familia cannabaceae, es una especie herbácea dioica anual proveniente de Asia en las cordilleras del himalaya. Esta planta ha acompañado a la humanidad durante varios siglos debido a sus múltiples usos, como fuente de materiales, fibras textiles, aceite de sus semillas y analgésicos, solo por mencionar algunos.

La hiperacumulacion es una característica que poseen algunas plantas para acumular metales pesados en sus tejidos a niveles por encima de los normales, sin provocar toxicidad debido al desarrollo de mecanismos internos de tolerancia a estos contaminantes.

La acumulación es una propiedad de las plantas de absorber algunos contaminantes y retenerlos internamente esta propiedad está clasificada dentro las propiedades de las plantas fitorremediadoras

Los suelos agrícolas son aquellos que se utilizan con el propósito de producir alimentos o materias primas, donde se realizan plantaciones extensivas con el fin de abastecer del producto al mercado mayorista.

La polución también conocida como contaminación hace referencia a la introducción de sustancias químicas, ya sean orgánicas o inorgánicas o cualesquiera otros elementos ajenos a un medio en el ambiente, ecosistema o un ser vivo, causando un deterioro, de esta manera el medio se vuelve no apto para ser usado

Los metales pesados hacen referencia a un grupo de elementos químicos que se caracterizan por su alta densidad, estos elementos representan un riesgo para los ecosistemas y los seres vivos que los habitan, debido a su toxicidad entre los más comunes se destacan el mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo, entre otros.

### III. METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación se apoyó en la revisión y análisis de artículos científicos, tesis, libros electrónicos y otros documentos científicos, relacionados con la fitorremediación, biorremediación de suelos, suelos contaminados por metales pesados y cáñamo industrial, para el análisis del desempeño del *Cannabis Sativa L.* Y su capacidad hiper acumuladora de metales pesados.

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente es una investigación aplicada, de alcance transversal y profundidad descriptiva idiográfica basada en el análisis documental.

El investigador Murillo (2008) señala que “La investigación aplicada recibe el nombre de investigación práctica o empírica que se caracteriza por que busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos a la vez que se adquieren otros después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación”

Según Hernández (1998), “Se determinó como descriptiva debido a que la información recolectada tiene por finalidad explicar los hechos sin alterarlos por lo cual se miden las variables de investigación para poder describirlas en los términos deseados”.

El diseño de la investigación es de carácter cuantitativo, de tipo no experimental, transeccional y descriptivo. Según Hernández (2014) menciona que:

La investigación cuantitativa no experimental se puede definir como la investigación en la cual no se manipula la variable, es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. (p.152)

Según esta definición podemos concluir entonces que las variables de estudio son observadas en su contexto natural sin aplicar ningún estímulo que produzca una reacción anómala.

Se emplea como técnica de investigación el análisis documental, las muestras para analizar son documentos electrónicos como tesis, artículos y revistas, para lo cual se hará una revisión exhaustiva de este material.

### **3.2. Variables y operacionalización**

Las variables comprendidas en la investigación son:

#### **A. La efectividad de *cannabis sativa* (cáñamo industrial) en la fitorremediación. variable independiente. (X)**

**Definición conceptual:** Según Barbaferri et al., 2013; Vameralli et al., 2010 citado por (González, Carrillo, Sánchez y Ruiz, 2017) define que: “la fitorremediación se considera la única alternativa eco-sustentable para el tratamiento in situ de suelos contaminados (...) Esta es una tecnología amigable con el ambiente, no invasiva y permite recuperar la estructura y la función del suelo”. (p.9)

**Definición operacional:** según Zhi-xin et al. 2007. (como se citó en Peña et al. 2013) menciona que:

“Su capacidad fitorremediadora se mide a partir de sus tasas de crecimiento y de acumulación, para obtener un valor de extracción (en gramos o kilogramos de metal por hectárea y año), además deben presentar un alto rango de tolerancia a condiciones tóxicas”. (p.472)

**Dimensiones:** Tasa de acumulación y crecimiento.

**Indicadores:** Acumulación de contaminante en mg/kg.

**Escala de medición:** La escala de medición razón es empleada en la investigación cuantitativa.

## **B. La remediación de suelos contaminados por metales pesados, variable dependiente. (Y)**

### **Definición conceptual:**

“Las interacciones en el proceso de biorremediación de suelos contaminados, que ocurren entre planta, microorganismos y compuestos orgánicos xenobióticos, estos conocimientos permiten proponer soluciones a la recuperación de suelos contaminados” (López et al., 2005).

### **Definición operacional:**

Según (Cueva, Solís y Martínez 2012) “Los métodos eco toxicológicos son útiles para determinar el efecto de los contaminantes en la salud del suelo y para evaluar la eficiencia de las medidas de remediación emprendidas para sanearlo” (p.1)

**Dimensión:** Composición del suelo y concentración de contaminantes.

**Indicadores:** Eliminación del contaminante en porcentaje

**Escala de medición:** Dada la naturaleza de la investigación la cual tiene un enfoque cuantitativo la escala razón es empleada.

### **3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis**

La población infinita está conformada por las investigaciones realizadas en torno a la implementación del *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) en la fitorremediación de suelos contaminados.

La muestra de tipo no probabilístico, conformada por 27 investigaciones de las cuales se busca obtener resultados cuantitativos sobre las propiedades bioacumuladoras del *Cannabis Sativa L* (cáñamo industrial) los criterios para determinar la muestra son: Nivel de confianza 99.7% con una probabilidad del 95% y un error estimado de 0.4 (tabla 5)

### **Criterios de inclusión:**

Dado que la presente investigación es de enfoque cuantitativo, se buscan obtener muestras representativas y objetivas que describan resultados de bioacumulación y biorremediación a partir de Cannabis Sativa L

### **Criterios de exclusión:**

Para obtener resultados más específicos sobre la fitorremediación de metales pesados, se excluyen las investigaciones que no contengan alguno de las siguientes palabras claves: fitorremediación, cannabis sativa, metales pesados

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Crossref es la agencia oficial de registro de identificadores de objetos digitales DOI. Es una asociación de editoras científicas que promueve el uso de las nuevas tecnologías para mejorar la investigación científica y la comunicación; trabaja para mejorar la identificación de las publicaciones innovadoras, de tal manera proporciona la infraestructura técnica y de negocios para brindar este enlace de referencia mediante identificadores de objetos digitales, también conocidos como DOI.

Crossref basa su funcionamiento en la aplicación del sistema DOI, desarrollado por la International DOI Foundation (IDF). Crossref es una base de datos que no contiene los artículos en sí, sino la información sobre el DOI, los metadatos, y la URL donde se haya alojado el contenido.

### **Análisis documental:**

La técnica de investigación basada en el análisis documental es empleada en esta investigación, se define como una operación fundamental en la cadena documental, estas operaciones son dirigidas a representar de forma concisa y precisa la información para almacenarla y recuperarla de forma sencilla.

El resultado del análisis documental representa un documento secundario o subproducto, utilizado como instrumento de búsqueda, es un intermediario entre el documento original y el investigador.

### **Instrumentos:**

Se define como instrumento el modelo de metadatos Dublín Core metadata (DC). Este modelo es el de más aceptación en la actualidad.

Los metadatos se definen como un conjunto de etiquetas, que se incluye dentro del dominio web. Son de gran utilidad en el suministro de información sobre los datos obtenidos, su planteamiento como pregunta responde al ¿por qué?, ¿quién?, ¿cuándo?, ¿dónde?, ¿Como? Sobre cada faceta relativa a los datos documentados.

Según Alvite, Diez (2014) menciona que etimológicamente se entienden los metadatos como “datos de los datos” así mismo Santamaria (2013) indica que la tradicional ficha se ha relevado por su insuficiencia, en el aporte de la gestión de la información y preservación de la nueva realidad documental

Los 15 elementos (DC)

- Título
- Creador
- Sujeto
- Descripción
- Editor
- Colaborador
- Fecha
- Tipo
- Formato
- Identificador
- Fuente
- Idioma
- Relación

- Cobertura
- Derechos

### **3.5. Procedimientos**

Por medio de identificadores DC o la dirección del sitio web donde se aloja el documento, se puede acceder a los metadatos del documento desde la página oficial de crossref. (Figura 4)

### **3.6. Método de análisis**

Base de datos y resumen analítico de investigación (RAI). La elaboración de la base de datos, se realiza con el software Excel donde por medio del lenguaje de macros visual basic for application (VBA) se desarrolla un entorno amigable para la recolección de datos. Posteriormente se realiza el resumen analítico de investigación (RAI) para extraer de los metadatos los resultados cuantitativos de cada investigación, para la aplicación de la estadística descriptiva.

### **3.7. Aspectos éticos**

#### **Validez:**

Para Méndez (2006) es de gran validez debido a sus propiedades de ser interpolable, extensible y simple, el respaldo de la norma ISO lo hace válido para la industria y uso corporativo.

#### **Confiabilidad:**

De igual manera se puede afirmar que el instrumento es confiable ya que los metadatos no son variables con el tiempo ni pueden ser modificados por lectores o investigadores ajenos al creador del contenido.

UNE-ISO 15489-1 es la norma que entiende la gestión de los metadatos, paralelo a la gestión de documentos, los metadatos los define como los datos que describen la estructura del documento, el contenido, el contexto y su gestión a lo largo del tiempo.

Por otro lado, la norma UNE-ISO 23081-1, los metadatos son información de forma estructurada o semiestructurada, que facilita la disposición del documento, tanto como su clasificación y conservación a lo largo del tiempo por medio de su dominio.

El dominio representa un área de actividad social e intelectual, desarrollada para un grupo limitado de individuos, que comparten ciertos intereses en la investigación. Explícitamente menciona el objetivo de los metadatos que tiene como fin la gestión de documentos, es posible identificar, autenticar y contextualizar tanto los procesos de creación y de gestión, como las políticas que los rigen.

#### IV. RESULTADOS

Tabla 1: Resultados

INVESTIGACIONES ÍTEM	REMEDIACION EN kg/h						
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Se
Fitorremediación bioaumentada de suelos y sedimentos contaminados con metales mediante cáñamo y junco gigante.	-	-	-	-	-	-	-
Evaluación del potencial de acumulación de metales pesados del cáñamo ( <i>Cannabis sativa L.</i> )	0.51	0.19	0.51	0.73	0	14.6	0
Respuestas morfo-fisiológicas y de acumulación de metales de las plantas de cáñamo ( <i>Cannabis Sativa L.</i> ) cultivadas en suelo de un área contaminada agroindustrial	-	-	-	-	-	-	-
Cáñamo industrial ( <i>Cannabis sativa L.</i> ) que crece en suelos contaminados con metales pesados: calidad de la fibra y potencial de fitorremediación	0.53	0.24	0.47	0.79	0.83	9.3	-
Acondicionamiento de sedimentos de ríos contaminados con metales pesados por <i>Cannabis sativa L.</i>	-	-	-	-	-	-	-
Potencial de fitorremediación del cáñamo ( <i>Cannabis sativa L.</i> ): identificación y caracterización de genes sensibles a metales pesados	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cannabis sativa</i> : una planta apta para la fitorremediación y la producción de bioenergía	-	0.36	0.57	-	-	-	-
Tolerancia a metales pesados y acumulación de Cd, Cr y Ni por <i>Cannabis sativa L.</i>	0.14	-	-	0.66	-	-	-
<i>Cannabis sativa L.</i> que crece en suelos contaminados con metales pesados: crecimiento, absorción de cadmio y fotosíntesis	-	-	-	-	-	-	-
Potencial del cáñamo ( <i>Cannabis sativa L.</i> ) para la producción combinada de fitorremediación y bioenergía	-	-	-	0.23	-	-	-
Capacidad de fitorremediación para la absorción de estroncio y cesio de los suelos utilizando <i>Cannabis sativa</i>	-	-	-	-	-	-	-
Metabolismo del selenio en el cáñamo ( <i>Cannabis sativa L.</i> ) - Potencial de fitorremediación y biofortificación	-	-	-	-	-	-	2.2
La fitorremediación de suelos contaminados con plomo y cromo mejora con la producción de fenólicos endógenos y prolina en las especies de partenio, cannabis, euforbio y rumex	-	-	-	-	-	-	-
Crecimiento del cáñamo industrial y la acumulación de metales pesados	-	-	-	-	-	-	-
Localización de cobre en <i>Cannabis sativa L.</i> cultivado en una solución rica en cobre	-	-	-	-	-	-	-
Los fertilizantes nitrogenados mejoran la capacidad de recuperación del cáñamo industrial ( <i>Cannabis sativa L.</i> ) cultivado en suelos contaminados con plomo	-	-	-	-	-	-	-
Fitoextracción efectiva de cadmio (Cd) con concentración creciente de fenólicos totales y prolina libre en plantas de <i>cannabis sativa (L)</i> bajo	0.87	-	-	-	-	-	-

diversos tratamientos de fertilizantes, reguladores del crecimiento de plantas y sal de sodio							
El silicio reduce la absorción de cadmio y aumenta la translocación de raíz a brote sin afectar el crecimiento de las plantas jóvenes de cáñamo ( <i>Cannabis sativa L.</i> ) a corto plazo	-	-	-	-	-	-	-
Efectos del lixiviado de vertederos sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de cultivares de cáñamo ( <i>Cannabis Sativa L.</i> )	-	0.26	0.47	-	-	-	-
Tolerancia al cadmio y bioacumulación de 18 accesiones de cáñamo	-	-	-	-	-	-	-
Evaluación comparativa de variedades de cáñamo industrial: experimentos de campo y fitorremediación en Hawái	-	-	0.5	0.81	-	-	-
Una revisión del estado actual del conocimiento sobre las condiciones de cultivo, las prácticas de salud del suelo agronómico y las utilidades del cáñamo en los Estados Unidos	-	-	-	-	-	-	-
Acumulación y distribución subcelular de plomo (Pb) en cáñamo industrial cultivado en suelo contaminado con Pb	-	-	-	-	-	-	-
Evaluación de las propiedades del suelo, riego y niveles de aplicación de residuos sólidos en la absorción de Cu y Zn por el cáñamo industrial	-	-	-	-	-	-	-
Los efectos de la inoculación con tres especies de Glomus sobre el crecimiento y la absorción de Pb por el cáñamo ( <i>Cannabis Sativa</i> ) en un suelo contaminado con Pb	-	-	-	-	-	-	-
Evaluación de la cannabis sativa industrializada L (cáñamo industrial) en la restauración de suelos contaminados por metales pesados	0.51	-	0.53	0.23	-	-	-
Industria del cáñamo industrial de Nueva Zelanda: motivaciones, limitaciones y avances	-	-	-	-	-	-	-
El transcriptoma comparativo combinado con análisis fisiológicos reveló factores clave para la tolerancia diferencial al cadmio en dos cultivares de cáñamo ( <i>Cannabis sativa L.</i> ) contrastantes	-	-	-	-	-	-	-
Métodos simples y robustos de GFAAS para la determinación de As, Cd y Pb en productos de cáñamo utilizando diferentes estrategias de preparación de muestras	-	-	-	-	-	-	-
Fitomanagement de suelos contaminados con cromo usando <i>Cannabis sativa (L.)</i>	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Resultados de remediación del suelo expresada en kilogramo del elemento por hectárea de terreno agrícola. Valores para cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc en este caso no se obtuvieron valores para cesio y estroncio en su lugar se encontró resultado para el selenio.

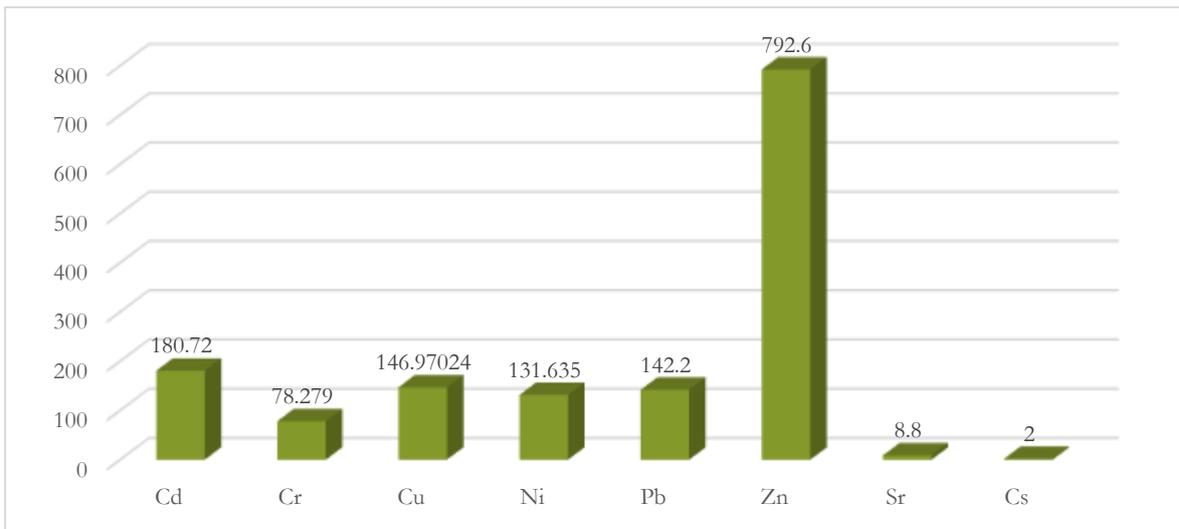


Figura 1: Hiperacumulación de metales pesados en mg/kg de materia vegetal

Fuente: Elaboración propia

Según la evaluación de resultados, el *cannabis sativa* presenta óptimos resultados en la translocación de metales pesados en sus raíces, tallos y hojas, en un contexto general el zinc fue el de mayor absorción como se visualiza claramente, la captación de Zn fue hasta 4 veces mayor que los demás elementos. Por otro lado, el cadmio, el cromo, cobre, níquel y plomo presentaron valores <200 y el estroncio y el cesio los valores más bajos por debajo de <10.

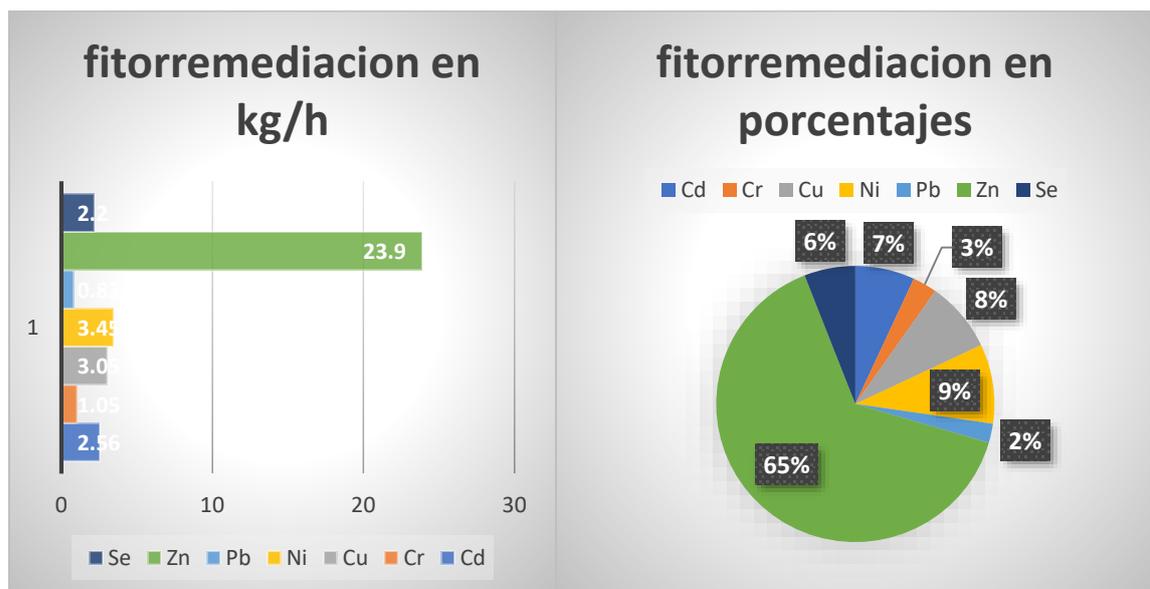


Figura 2: Remediación total del suelo expresado en kg/h y en porcentaje

La remediación del suelo para el zinc representa un 65% del total de los contaminantes lo cual también se ve reflejado en los resultados de acumulación. Níquel, cobre, cadmio y selenio 9%,8%,7%,6% respectivamente, mientras que los valores más bajos fueron para el cromo y el plomo con 2% y 3%.

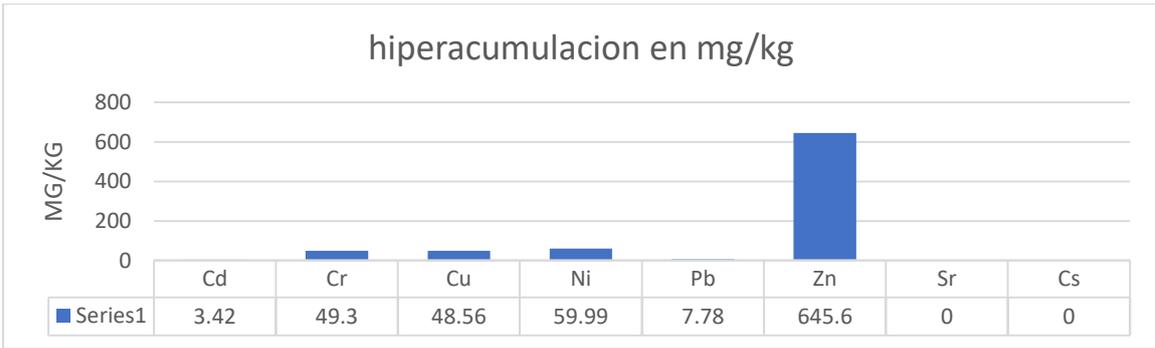


Figura 3: Análisis de dispersión entre los resultados de esta investigación y la realizada por Galic et al. (2019)

Fuente: Elaboración propia

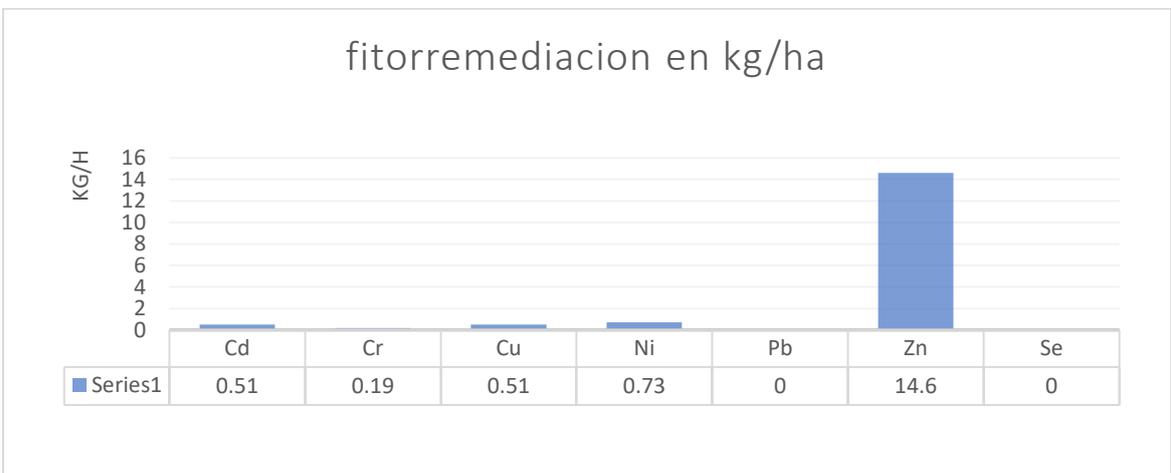
Se puede observar que los resultados guardan relación entre las variables y para un análisis más profundo de los resultados se analiza la dispersión de los resultados generales comparados con la Investigación más significativa

La investigación realizada por Galic et al. (2019), titulada "Evaluación del potencial de acumulación de metales pesados del cáñamo (*Cannabis Sativa L.*)" Realizada en Zagret Croacia en 2019. Fue la más representativas de las muestras aportando el 75% de los datos cuantitativos.



*Figura 4:* Resultados obtenidos por Galic et al (2019) para la acumulación de metales pesados

Fuente: Elaboración propia



*Figura 5:* Resultados obtenidos por Galic et al. (2019) para la fitorremediación del suelo

Fuente: Elaboración propia

## V. DISCUSIÓN

En general el Cannabis Sativa L presentó cualidades fitorremediadoras como se puede evidenciar en los resultados, el cáñamo industrial puede excluir metales tóxicos cadmio, cromo, cobre, plomo, arsénico, níquel y de manera muy significativa la acumulación de zinc, estos elementos son transportados a través de los tejidos vasculares de la planta.

Los resultados fueron comparados con lo expuesto por Galic et al. (2019) quién en su investigación menciona que: “La captación de metales estudiados (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, Hg, Co, Mo y As) medidos en la raíz, el tallo y hoja fueron influenciados por el ph del suelo.” Finalmente, el autor concluye que la variedad de cáñamo Fibrol se puede utilizar para la eliminación de metales pesados. Además, el cáñamo mostró capacidad para eliminar las mayores cantidades de Zn (hasta 27,1kg / ha) mientras que otros elementos registraron menor remoción (<0.8kg / ha).

Por otra parte, en la presente investigación el zinc presentó una eliminación (hasta de 23,9 kg/ha) por su parte los demás elementos registraron valores (>0.83kg/ha) muy cercanos a los resultados expuestos por Galic (2019)

Delgadillo (2011) por su parte afirma que “Por definición, estas plantas deben acumular al menos 100 µg/g (0.01 % peso seco) de Cd y As; 1000 µg/g (0.1 % peso seco) de Co, Cu, Cr, Ni y Pb; y 10 000 µg/g (1.0 % peso seco) de Zn.” En comparación con los propios resultados de zinc en peso seco de material que fue del 0.079 %, cadmio registro una concentración de 0,018%, por su parte, el cromo, cobre, níquel y plomo registraron valores de 0,0078% 0.0146% 0.0131% 0.0142% respectivamente.

La hiperacumulación de zinc está relacionada con actividades fisiológicas de la planta ya que interviene en una amplia gama de procesos necesario para el desarrollo y crecimiento de la planta. Así concluye, Pietrini et al. (2019) mencionando que el Zn fue captado y transportado en tallo, hoja e inflorescencia, donde es solicitado para funciones fisiológicas asociadas a su papel como micronutriente.

El pH levemente alcalino del suelo reportado en este ensayo es un factor a tener en cuenta para considerar la absorción de metales (loides) por las plantas, lo que afecta la movilidad y biodisponibilidad del metal. (Tabla 1) la movilidad en función del pH.

En comparación a otras especies con cualidades biorremediadores, el *Cannabis Sativa* L destaca por ser hiperacumuladora, en definición para Lara (2018) se le denomina plantas híper-acumuladoras, a aquellas plantas que poseen capacidades fisiológicas, que les otorgan capacidades por sobre duras condiciones del suelo, desarrollarse en ambientes empobrecidos, penetrar en suelo endurecido, entre otros. Así mismo Peña et al. (2013) la clasifica dentro de un grupo de especies fitorremediadoras (Tabla 3)

De acuerdo con la revisión bibliográfica se pudo constatar que el cáñamo industrial aparte de su utilidad para tratamientos de suelos, también presenta propiedades idóneas para ser empleado en la industria, debido a su gran producción de biomasa y la utilidad de todos sus derivados.

Este aspecto abre preguntas intrigantes sobre la legalización del *Cannabis Sativa* L y sus aplicaciones para hacer frente a la presencia de metales en el suelo y en un contexto más general para el beneficio del ambiente y el mejorar la calidad de vida de las personas.

Para López et al (2014) cannabis sativa es considerada como una de las plantas más importantes del reino vegetal, debido a sus características botánicas y químicas; así como a su utilidad para el tratamiento de algunas enfermedades.

Por lo cual es recomendable su cultivo en suelos agrícolas contaminados por metales pesados y la utilización de biomasa para otros procesos productivos en la industria no alimentaria ni farmacéutica.

En Europa es evidente el nivel de desarrollo, entre tantos factores se debe a que aprovechan al máximo sus recursos, ejemplo de ello es la implementación de energías renovables, en la misma dirección la producción de cáñamo industrial con sigue en aumento debido a su aplicabilidad.

Así lo describe Michael Carus y Luis Sarmiento (2016) en la revista de la (EIHA) european industrial hemp association, quienes afirman que en Europa durante la última década se ha implementado el cáñamo industrial para la elaboración de fibras, biocombustible, aislantes, industria textil, pulpa de papel, materiales de construcción y más aplicaciones (figura 5)

## VI. CONCLUSIONES

En la presente investigación se determinó que el Cannabis Sativa L (cáñamo industrial) es efectivo para la fitorremediación de suelos agrícolas, degradados por metales pesados logrando resultados positivos en la hiperacumulación de metales pesados. En su condición hiperacumuladora puede retener en sus hojas, tallos y raíz, en peso seco por kilogramo hasta un 0.079% de zinc, 0.018% de cadmio, 0.0078% de cromo, 0,0146% de cobre, 0.0131% de níquel, 0.0142% de plomo, estos resultados son respaldados por otros autores citados en esta investigación.

1. Por las bondades que presenta el Cannabis Sativa L descritas en esta investigación se concluye que el cáñamo industrial posee las cualidades idóneas para su cultivo y empleabilidad de la biomasa, siendo la industria papelera y textil las de aplicación más directa donde el cáñamo representa la materia prima de producción.

En cuanto a su producción se refiere, el cultivo de cáñamo industrial requiere el uso mínimo de pesticidas y fertilizantes debido a su rápido crecimiento y poca atracción de plagas, además es de fácil adaptación a condiciones extremas, haciendo que sea de mayor aplicabilidad en los procesos de remediación debido a los bajos costos.

2. En conclusión, el cáñamo industrial destaca frente a otras especies, el principal factor de superioridad es que puede medrar en una pluralidad de suelos haciéndola más resistente a variables independientes como el potencial de hidrogeno en el suelo, el grado de saturación de contaminantes, temperatura ambiente y humedad relativa.
3. Debemos señalar que el cáñamo industrial tiene excelentes propiedades por lo que es de gran empleabilidad en la industria dedicada a la manufactura y transformación de productos, alimentación animal y producción energética Debido a las concentraciones de metales pesados retenidos en la planta, y se concluye que el material vegetal es apropiado para su empleabilidad como biomasa. (figura 6) Finalmente, y de acuerdo a la hipótesis planteada se puede afirmar que la aplicación del cannabis sativa (cáñamo industrial)

es efectivo en la remediación de suelos agrícolas contaminados por metales pesados, logrando la traslocación de contaminantes y mejorando la calidad del suelo. Y posteriormente el uso de la biomasa para la producción energética.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Se recomiendan considerar esta investigación y su base de datos para realizar futuras investigaciones de tipo experimental y evaluar su desarrollo considerando las condiciones ambientales y el grado de salinidad típico de la costa norte del Perú.

Si bien es cierto que el cáñamo industrial puede desarrollarse prácticamente en cualquier suelo, ciertas condiciones químicas del suelo pueden facilitar o dificultar la translocación de los metales pesados, el (pH) es determinante la hiperacumulación siendo favorable un (pH) por debajo de 7.5

2. Se recomienda la implementación de la biomasa específicamente para actividades que no tengan que ver con la alimentación humana o de animales, de igual forma no se recomienda realizar extracciones a partir de las semillas ya que posiblemente la translocación de metales puede llegar hasta las flores de la planta.
3. Se recomienda la variedad Fibrol, la cual tiene excelente rendimiento en la translocación de metales pesados y es adecuada para la producción de fibra. Sin embargo, teniendo en cuenta la ubicación geográfica se sugiere evaluar otras variedades según la (tabla 7)

## REFERENCIAS

ALARCON, Narda Estimación del potencial remediador de metales de plantas vasculares herbáceas en el cerro el toro Shiracmaca Huamachuco Perú 2016. Tesis (Doctorado) Trujillo: Universidad nacional de Trujillo 2019 [fecha de consulta 15 de mayo 2021] disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/15277/Alarcon>

Andrea FERRARINI, Alessandra FRACASSO, Giulia SPINI, Flavio FORNASIER, Eren TASKIN, María Chiara FONTANELLA, Gian María BEONE, 2 Stefano AMADUCCI, Eduardo PUGLISI Fitorremediación (2021) bioaumentada de suelos y sedimentos contaminados con metales mediante cáñamo y caña gigante [fecha de consulta 12 septiembre de 2021] disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8096354/>

Angeles López [et al]. Cannabis Sativa L. Una planta singular. Revista mexicana de ciencias farmacéuticas [en línea] 2014 nº 4 [fecha de consulta 10 abril de 2021] disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci\\_abstract&pid=S1870-01952014000400004&lng=es&nrm=is](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci_abstract&pid=S1870-01952014000400004&lng=es&nrm=is)

Ángeles López, Guadalupe Esther; Brindis, Fernando; Cristians Niizawa, Sol; Ventura Martínez, Rosa Cannabis Sativa L., una planta singular Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas, vol. 45, núm. 4, -, 2014 Asociación Farmacéutica Mexicana, A.C. Distrito Federal, México [fecha de consulta 10 de octubre de 2021] disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/579/57940028004.pdf>

BRACK Antonio, MENDIOLA Cecilia, Enciclopedia ecología del Perú. Capítulo 15, [en línea] [fecha de consulta 8 de septiembre del 2021] Disponible en: <https://www.peruecologico.com.pe/libro.htm>

CARUS y SARMENTO The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers 2016 European industrial hemp association [fecha de consulta 11 de octubre de 2021] Disponible en : [https://www.researchgate.net/profile/Michael-Carus/publication/281366876\\_The\\_european\\_hemp\\_industry\\_Cultivation\\_processing\\_and\\_applications\\_for\\_fibres\\_shives\\_and\\_seeds/links/5f88b42f299bf1b53e2bec1/The-european-hemp-industry-Cultivation-processing-and-applications-for-fibres-shives-and-seeds.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Michael-Carus/publication/281366876_The_european_hemp_industry_Cultivation_processing_and_applications_for_fibres_shives_and_seeds/links/5f88b42f299bf1b53e2bec1/The-european-hemp-industry-Cultivation-processing-and-applications-for-fibres-shives-and-seeds.pdf)

CORTES Luis, MARTIN Francisco, SARRIA Margarita. Evaluación de la toxicidad de metales pesados en dos suelos agrícolas de Colombia mediante bioensayos. Temas agrarios [en línea] julio 2017 vol.22 no.2 [fecha de consulta 16 abril de 2021] Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/943> ISSN 2389-9182

COVARRUBIAS Sergio, PEÑA Juan José. Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de biorremediación. Revista internacional de contaminación ambiental [en línea] 2017 vol.33 [fecha de consulta 16 de abril de 2021] Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.es.p01.0>

DECRETO SUPREMO Nº 021-2007-EM, REGLAMENTO PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES Publicado el 20 de Abril de 2007. Disponible en: <http://www2.osinerg.gob.pe/marcolegal/docrev/DS-021-2007-EM-CONCORDADO.pdf>

Delgadillo López, Angelica Evelin [et al]. FITORREMEDIACIÓN: una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and subtropical agroecosystems [en línea] 2 (14): mayo 2011. [fecha de consulta 1 de mayo 2021]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002). ISSN 1870-0462

FAO Land degradation assessment in drylands. Riccardo BIANCALANI, Freddy NACHTERGAELE, Monica PETRI, Saly BUNNING (2011) [Fecha de consulta 3 de noviembre 2021] disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/6811dec2-0997-5e26-8798-0fae0dd069e3/>. ISSN 1870-0195

LARA Benjamín. Evaluación de la cannabis sativa industrializada L (cáñamo industrial) en la restauración de suelos contaminados por metales pesados, Tesis (bachiller) Chile: universidad técnica federico santa maría 14 de diciembre de 2018 [fecha de consulta 1e de abril de 2021] Disponible en : <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/46174/3560901550095UTFSM.pdf?Sequence=1&isallowed=y>

M. J. SÁNCHEZ Martín, M. SÁNCHEZ, Temas de divulgacion. 1ª edición en 1984 Los plaguicidas absorción y disponibilidad en el suelo. [Fecha de consulta 15 octubre 2021] Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/12919/1/plaguicidas.pdf>

MANAIA, João P., MANAIA, Ana T. Y RODRIGUES, Lucia. Fibras industriales de cáñamo: una descripción general. Fibers [en línea]. 2 de diciembre de 2019. Vol. 7, no. 12, pág. 106. [fecha de consulta 16 abril 2021]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-6439/7/12/106/htm>

Manosalva, Dávila y Quintero. ESTUDIO holístico para la producción de papel a partir de cáñamo industrial en el contexto colombiano. Revista Mutis [en línea] volumen 10, nº2, 2020. Disponible en: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1721>

Marija GALIĆ, Aleksandra PERČIN, Željka ZGORELEC, Ivica KISIĆE valuation of heavy metals accumulation potential of hemp (Cannabis Sativa L.) Journal of Central European Agriculture, 2019, 20(2), p.700-711 [fecha de consulta 18 de septiembre de 2021] disponible en: [https://jcea.agr.hr/articles/773606\\_Evaluation\\_of\\_heavy\\_metals\\_accumulation\\_potential\\_of\\_hemp\\_\(Cannabis\\_sativa\\_L\\_\)\\_en.pdf](https://jcea.agr.hr/articles/773606_Evaluation_of_heavy_metals_accumulation_potential_of_hemp_(Cannabis_sativa_L_)_en.pdf)

MENDEZ Pérez, Flor Analí. Optimización de la obtención del extracto hidroalcohólico de las inflorescencias de Cannabis Sativa L. "marihuana". Ayacucho 2018. Tesis (bachiller farmacia bioquímica) Ayacucho: universidad nacional de san cristóbal de Huamanga, 2018. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3358>

N-amatics systems [Fecha de consulta 5 noviembre 2021] Disponible en : <http://www.n-amaticsystems.com/wp-content/uploads/2014/05/BIOMASA.pdf>

ORTIZ, Manuel. Uso de bioestimulantes obtenidos a partir de okara en la biorremediación de suelos contaminados por herbicidas efectos en propiedades biológicas del suelo. Tesis (Maestría). Sevilla: Universidad de Sevilla 2019. [fecha de consulta 10 de marzo de 2021]. Disponible en : <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/94155/tesis%20mortiz%20Botella.pdf?Sequence=1&isallowed=y>

Peña Salamanca, Enrique J. BIOPROSPECCIÓN de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: casoheliconia psittacorum (heliconiaceae). Revista de la Academia Colombiana de Ciencias. Exactas físicas y naturales. [en línea] vol.37 N°145 14 noviembre 2013 [fecha de consulta 20 de abril 2021] disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082013000400004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0370-39082013000400004). ISSN:0370-3908

PIETRINI Fabrizio, PASSATORE Laura, PATTI Valerio, FRANCOCCI Fedra, GIOVANNOZZI Alessandro, ZACCHINI Massimo. Respuestas morfo-fisiológicas y de acumulación de metales de las plantas de cáñamo (Cannabis Sativa L.) Cultivadas en suelo de un área contaminada agroindustria 2019 [Fecha de consulta 13 septiembre de 2021] disponible en: <https://doi.org/10.3390/w11040808>

Plataforma digital del estado peruano, misterio de desarrollo agrario y riego. Según anunció ministro de Agricultura, Jorge Montenegro Chavesta Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/52470-minagri-proyeccion-del-sector-agropecuario-es-lograr-un-crecimiento-superior-al-4-1>

TORRENTES Gerald Retrospectiva y Prospectiva del Desarrollo de las Generaciones de Biocombustibles. Ciencia y tecnología, ISSN 1850-0870, ISSN-e 2344-9217, N.º. 21, 2021. [fecha de consulta 11 de noviembre de 2020] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?Codigo=8148854>

UNE-ISO 15489-1, UNE-ISO 23081-1, UNE Normalización Española 8 de noviembre de 2016. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?C=N0057440>

VALVERDE Apfata, Neryeling Cris. Evaluación de Pelargonium zonale para Fito extraer plomo de suelos agrícolas en El Mantato - Jauja. Tesis (Maestría en ingeniería ambiental) Huancayo: universidad del centro del Perú, 2019 Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/6087>

VÁSQUEZ Arturo, DE LA CRUZ Ricardo, COELLO Francisco J. Los Biocombustibles: Desarrollos recientes y tendencias internacionales Lima, noviembre del 2016. [Fecha de consulta 10 noviembre 2021] Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios Economicos/Documentos de Trabajo/Documento-Trabajo-36.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Documentos_de_Trabajo/Documento-Trabajo-36.pdf)

Yovana TORRES, Alfredo GROVER William SALAS René HINOJOSA Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. Scientific research journal, centro de investigación y desarrollo intelectual. [Fecha de consulta 29 octubre 2021] Disponible en: <http://srjournalcidi.org/index.php/ojs/article/view/43/27>

## ANEXOS

### Anexo 01: Plan piloto

Para el desarrollo del plan piloto se tomaron 3 documentos y se procesaron de manera manual, como resultado se obtuvo las fichas bibliográficas y los datos cuantitativos. Los resultados cuantitativos de la prueba piloto en (tabla 6)

#### Ficha nº1

Realizado por: Camilo Valencia Jiménez

Evaluación del potencial de acumulación de metales pesados del cáñamo (*Cannabis Sativa L.*)

Bibliografía: (Revista de agricultura de europa central vol.20, nº2, 2019) ISSN 1332-9049. [URL:https://hrcak.srce.hr/221579](https://hrcak.srce.hr/221579)

Palabra clave: (acumulación)

En 2016 se llevó a cabo un estudio con el fin de evaluar la capacidad del *Cannabis Sativa L.* En la acumulación metales pesados y revelar su posibilidad como fitoacumulador o fitoestabilizador. En macetas experimentales se utilizaron dos tipos de suelo de Croacia: Gleysoils (suelo alcalino) y Stagnic Luvisol (suelo ácido). Se utilizaron cuatro variedades diferentes de cáñamo: Fedora 17 (variedad I), Fibrol (variedad II), Futura 75 (variedad III) y Santhica 27 (variedad IV).

La mayoría de las variedades acumularon más metales pesados en las raíces que en la biomasa aérea. La remoción de Cd, Ni, Pb, Hg, Co, Mo y As fue mayor en suelos ácidos. Una mayor acumulación de metales pesados en algunas variedades podría conducir a su aplicación general para la fitoacumulación de metales pesados de suelos contaminados.

Conclusión: Captación de metales estudiados (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Cr, Hg, Co, Mo y As) medidos en la raíz, el tallo y hoja fueron influenciados por el pH del suelo. El estudio actual concluye que la variedad de cáñamo Fibrol se puede utilizar para la eliminación de metales pesados. Además, el cáñamo mostró capacidad para

eliminar las mayores cantidades de Zn (hasta 27,1 kg / ha) mientras que otros elementos registraron menor remoción (<0.8kg / ha).

## **Ficha nº2**

Realizado por: Rubén Darío Lama Chuzón

Fitorremediación bioaumentada de suelos y sedimentos contaminados con metales mediante cáñamo y junco gigante.

Bibliografía: Revista Microbiol delantero vol.12, 2021: 645893.

[URL:https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8096354/](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8096354/)

Palabra clave: (Fitorremediación)

Se realizaron experimentos de fitorremediación en macetas de 2 meses de duración con cáñamo (*Cannabis Sativa L.*) Y caña gigante (*Arundo donax L.*) Cultivados en suelos y sedimentos respectivamente, comparando en ambos casos los efectos de la bioaumentación con una sola adición de rizobacterias promotoras de crecimiento (PGPR) y ácido etilendiaminotetraacético, (EDTA) sobre el crecimiento de plantas indicado en (imagen 3)

### **Conclusión:**

La Fitorremediación por parte de cultivo del cannabis sativas L. No menciona que la acumulación de metales pesados en el cáñamo puede considerarse baja para fines de fitoextracción en condiciones reales de campo. El cáñamo mostró una concentración promedio relativamente baja de Ni y Cu y una concentración insignificante de Cr.

## **Ficha nº3**

Realizada por: Camilo Valencia Jimenez

Respuestas morfo-fisiológicas y de acumulación de metales de las plantas de cáñamo (*Cannabis Sativa L.*) Cultivadas en suelo de un área contaminada agroindustrial

Bibliografía: (Revista agua vol.11 nº4 10.3390 / w11040808) Ecoinnovaciones tecnológicas para el control de calidad y descontaminación de aguas y suelos contaminados. [URL:https://www.mdpi.com/2073-4441/11/4/808/htm](https://www.mdpi.com/2073-4441/11/4/808/htm)

Palabra clave: (acumulación)

En esta investigación, se cultivaron plantas de Cannabis Sativa L. En invernadero en suelos de dos sitios del “Valle del Sacco” (Región del Lacio, Italia), una amplia zona contaminada por actividades agroindustriales. Un sitio fue representativo de contaminación múltiple moderada y difusa por metaloides por encima del límite de concentración italiano para la agricultura (CM, moderadamente contaminado). El segundo sitio mostró un contenido de metaloide por debajo del límite antes mencionado, como un nivel de fondo típico del distrito (C — control).

Después de 90 días, los parámetros biométricos y fisiológicos revelaron un crecimiento satisfactorio en ambos tipos de suelo. Las plantas cultivadas con MC mostraron una reducción leve pero significativa en el área foliar, la raíz y la biomasa de las hojas en comparación con las plantas cultivadas con C.

Conclusión: Los resultados de este ensayo, obtenidos en un experimento con macetas en invernadero, ponen en evidencia que las plantas de cáñamo pueden crecer satisfactoriamente en suelos moderadamente contaminados por metales (loid), produciendo biomasa e inflorescencia con semillas. Algunos parámetros de crecimiento se redujeron ligeramente en plantas cultivadas en suelo MC en comparación con aquellas cultivadas en suelo C.

### Resultados de la prueba piloto

INVESTIGACIÓN	REMEDIACIÓN DEL SUELO	RESULTADOS DE ACUMULACION
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación del potencial de acumulación de metales pesados del cáñamo (Cannabis Sativa L.)</li> </ul>	Zn 14.6kg/ha-1 Cr 0.19kg/ha-1 Ni 0.73kg/ha-1 Cu 0.51kg/ha-1	Hojas:Cu 9.19mg/kg, Cd 0.23mg/kg, Ni 6.09mg/kg, Pb 0.29mg/kg, Zn 190.9mg/kg, Cr 2.64mg/kg. Tallo:Cu 0.17mg/kg, Cd 0.37mg/kg, Ni 10.3mg/kg, Pb 0.83mg/kg, Zn 105.3 mg/kg, Cr 1.16mg/kg, Raíz:Cu 39.2mg/kg, Cd 2.82mg/kg,Ni 43.6mg/kg, Pb 6,66 mg/kg, Zn 349.4mg/kg, Cr 45.5mg/kg

<ul style="list-style-type: none"> <li>Fitorremediación bioaumentada de suelos y sedimentos contaminados con metales mediante cáñamo y junco gigante.</li> </ul>	30%, Cu 26%, Ni 37%, Cr	Hojas: Cu 760ug, Ni 2800ug, Cr 4ug Tallo: Cu950ug, Ni 1135ug, Cr 4ug Raíz: Cu274ug, Ni 410ug, Cr 22 ug
<ul style="list-style-type: none"> <li>Respuestas morfo-fisiológicas y de acumulación de metales de las plantas de cáñamo (<i>Cannabis Sativa L.</i>)</li> </ul>		Hojas: Zn 21.1mg/kg Tallo: Zn 9.1mg/kg Raíz: Zn 13.8mg/kg Pb 12.3mg/kg V 11.4mg/kg Cr 1.9mg/kg

Fuente: Elaboración propia

### Procesos y mecanismos

PROCESO	MECANISMO	CONTAMINANTE
Fitoestabilización	Complejacion	Organicos e inorganicos
Fitoextracción	Hiperacumulacion	Inorganicos
Fitovolatilización	Volatilizacion atravez de las hojas	Organicos e inorganicos
Fitoimmobilización	Acumulacion en rizosferas	Organicos e inorganicos
Fitodegradacion	Uso de plantas y mecanismos asociados para degradar contaminantes	Organicos
Rizofiltración	Uso de raices para absorb	Organicos e inorganicos

## Anexo 02: Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<b>VI: Efectividad de la Cannabis Sativa L (cáñamo industrial) en la fitorremediación</b>	La fitorremediación se considera la única alternativa eco-sustentable para el tratamiento in situ de suelos contaminados (...) Esta es una tecnología amigable con el ambiente, no invasiva y permite recuperar la estructura y la función del suelo. (Barbafieri et al., 2013; Vamerali et al. 2010).	Su capacidad fitorremediadora se mide a partir de sus tasas de crecimiento y de acumulación, para obtener un valor de extracción (en gramos o kilogramos de metal por hectárea y año), además deben presentar un alto rango de tolerancia a condiciones tóxicas (Zhi-xin et al., 2007)	Tasa de acumulación y crecimiento	Extracción de contaminante en mg/kg	Razón
<b>VD: Biorremediación de suelos agrícolas contaminados por metales pesados</b>	Las interacciones en el proceso de biorremediación de suelos contaminados, que ocurren Entre planta, microorganismos y compuestos orgánicos xenobióticos, estos Conocimientos permiten proponer soluciones a la recuperación de suelos contaminados (López et al., 2005), Las interacciones en el proceso de biorremediación de suelos contaminados, que ocurren Entre planta, microorganismos y compuestos orgánicos xenobióticos, estos Conocimientos permiten proponer soluciones a la recuperación de suelos contaminados (López et al., 2005), Las interacciones en el proceso de biorremediación de suelos contaminados, que ocurren Entre planta, microorganismos y compuestos orgánicos xenobióticos, estos Conocimientos permiten proponer soluciones a la recuperación de suelos contaminados (López et al., 2005), Las interacciones en el proceso de biorremediación de suelos contaminados, que ocurren Entre planta, microorganismos y compuestos orgánicos xenobióticos, estos Conocimientos permiten proponer soluciones a la recuperación de suelos contaminados (López et al., 2005),	Los métodos ecotoxicológicos son útiles para determinar el efecto de los contaminantes en la salud del suelo y para evaluar la eficiencia de las medidas de remediación emprendidas para sanearlo. (Cueva, Solis y Martinez 2012)	Composición del suelo y concentración de contaminantes.  Composición del suelo y concentración de contaminantes.  Composición del suelo y concentración de contaminantes.  Composición del suelo y concentración de contaminantes.	Eliminación de contaminante en porcentajes	Razón

Fuente: Elaboración propia

### **Anexo 03:** Variedades de cáñamo industrial, zona productiva y empleabilidad

Nº	Nombre	Zona climática	Uso principal
8	CS	Todas	Múltiple
11	Carmagnola	Todas	Múltiple
14	Codimono	Sur y Centroeuropa	Fibra
15	Dacia Secuieni	Norte y centro europa	Fibra
18	Dioica 88	Norte sur y europa central	Aceite y harina
19	Earlina 8 FC	Norte y centro europa	Aceite y harina
20	Eletta Campana	Todas	Múltiple
22	Fedora 17	Norte y centro europa	Múltiple
23	Felina 32	Norte y centro europa	CBD flor
26	Fibrol	Norte y centro europa	Fibra
27	Fibror 79	Norte y centro europa	Fibra
28	Finola	Boreal continental y oceánico	Aceite y harina
29	Futura 75	Norte sur y europa central	CBD flor
31	Férimon	Norte sur y europa central	Aceite y harina
33	Gliana	Sur y centroeuropa	Fibra
39	KC Dora	Norte y centro europa	Múltiple
40	KC Virtus	Norte sur y europa central	CBD flor
41	KC Zuzana	Norte y centro europa	Múltiple
43	Kompolti	Norte sur y europa central	CBD flor
50	Markant	Norte y centro europa	Fibra
53	Monoica	Norte y centro europa	Múltiple
58	Ratza	Norte y centro europa	Fibra
60	Santhica 27	Norte y centro europa	CBD flor
61	Santhica 70	Norte y centro europa	CBD flor
63	Silvana	Norte y centro Europa	Fibra
67	Tiborszallasi	Sur y centroeuropa	Fibra
68	Tisza	Norte sur y europa central	CBD flor
71	Uso-31	Norte europa zona atlántica	Aceite y harina
75	Zenit	Norte y centro europa	Múltiple

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 04: Movilidad de los elementos en función al pH

MOVILIDAD	MEDIO OXIDANTE	MEDIO ACIDO	MEDIO NEUTRO O ALCALINO	MEDIO REDUCTOR
<b>Alta</b>	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au		
<b>Media</b>	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd	Cd	
<b>Baja</b>	Pb	Pb	Pb	
<b>Muy alta</b>	Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr, Zr	Al, Sn, Pt, Cr	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb

Fuente: Ghosh Sigh (2005) citado en Delgadillo et al. (2021).

### Anexo 05: Platas usadas en la fitorremediación

Planta	Papel en la fitorremediacion
Agropyron cristatum	Remediación de compuestos orgánicos Como PCP (fenilciclohexilpiperidina) y PAH (Polihidroxialcanoatos)
Alyssum spp.	Acumula níquel
Amaranthus retroflexus	Acumula Cs (Cesio)
Armoracia rustica	Cultivos de pelos radiculares retiran metales pesados
Armeria marítima	Acumula plomo
Asthenatherum forsskalii	Remediación de hidrocarburos de petróleo
Altriplex prostrata	Retira sal del suelo
Azolla pinnata	Acumula plomo, cobre, cadmio y hierro
Brassica canola	Remedia suelos contaminados con Cs
Brassica juncea	Hiperacumuladora de metales
Cannabis sativa	Hiperacumuladora de metales
Cardamonopsis hallerii	Hiperacumuladora de metales
Ceratophyllum demersum	Acumuladora de metales. Retira TNT (trinitro tolueno)
Cyperus conglomeratus	Remediación de hidrocarburos de petróleo
Datura innoxia	Acumula bario
Eucalyptus spp.	Retira sodio y arsénico

---

Eichornia crassipes	Acumula plomo, cobre, cadmio y hierro
Helianthus annuus	Acumula plomo y uranio Retira Cs y Sr (Estroncio) en reactores hidropónicos
Hydrocotyle umbellata	Acumula plomo, cobre, cadmio y hierro
Kochia scoparia	Retira Cs y otros radionucleicos
Lemna minor	Acumula plomo, cobre, cadmio y hierro
Myriophyllum spicatum	Degrada TNT
Phaseolus acutifolius	Acumula Cs
Phragmites communis	Tratamiento de contaminantes orgánicos En aguas residuales
Potamogeton nodus	Elimina TNT
Populus deltoides	Agua freática contaminada con TCE (tricloro etileno)
Populus charkowiensis x P. Incrassata	Degradación de TCE
Populus trichocarpa x P. Deltoides	Eliminación de TCE, TCA (tricloroetano) Y CT (tetracloruro de carbono)
Paulownia sp.	Disminuye el N. Posee altos niveles de Absorción
Sagittaria latifolia	Elimina TNT
Salicornia	Elimina sal del suelo
Salix sp.	Fitoextracción de metales pesados, tratamiento de aguas residuales y de escorrentía
Solanum nigrum	Cultivos de células pilosas detoxifican Pcbs (Bifenilos policlorados)
Spartina alternifolia	Elimina sal
Spergularia	Elimina sal del suelo
Stipagrostis plumosa	Remediación de hidrocarburos del petróleo
Tamarisk	Elimina sodio y arsénico
Typha spp.	Volatilización de selenio
Thlaspi spp.	Acumuladora de zinc, cadmio y plomo
Vicia faba	Remediación de hidrocarburos del petróleo
Yucca spp.	Absorción y degradación TNT y RDX (explosivos)

---

Fuente: (Peña y Salamanca 2013)

## Anexo 06: Calculo de muestra

**CALCULO TAMAÑO DE MUESTRA INFINITA** 
$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2}$$

Parametro	Insertar Valor
Z	3.000
P	95.00%
Q	5.00%
e	0.40%

Tamaño de muestra

"n" =

**26,718.75**

**n** = Tamaño de muestra buscado

**Z** = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)

**e** = Erro de estimación máximo aceptado

**p** = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

**q** = (1 - p) = Probabilidad de que no

Nivel de confianza	Z <sub>alfa</sub>
99.7%	3
99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05

## Anexo 07: Diferencias entre el cáñamo y la marihuana

# CAÑAMO Y MARIHUANA

¿Cuál es la diferencia?

Ambos comparten familia **Cannabis Sativa** pero son **VARIEDADES DISTINTAS**

<b>CAÑAMO</b>		<b>MARIHUANA</b>
Alto contenido de CBD		Alto contenido de THC (su componente psicoactivo)
Usos más industriales: como obtención de semillas, fibras, extracción de aceite.		Uso medicinal
Usos medicinales: por su cannabidiol (CBD), un componente NO psicoactivo		Uso recreativo

Fuente: Fundación Canna y otros

## Anexo 08: Usos del cáñamo en la industria

# LOS USOS DEL CÁÑAMO

De toda la planta del cáñamo se pueden extraer materiales para productos industriales. El mercado global de cáñamo consiste en más de **25 mil productos** divididos en **nueve submercados: agricultura, textiles, reciclaje, automotriz, muebles, alimentos y bebidas, papel, materiales de construcción y cuidado personal.**

## Tallo

Se obtienen fibras de dos tipos:

### Fibra externa

70 % celulosa, más rígida que el algodón y rinde hasta tres veces más. Se producen textiles, materiales de construcción y cuerdas resistentes.



### Fibra interna

Se obtiene de la pulpa. Se producen aislantes, composta orgánica y papel.



## Flor y hojas

-Viruta para mascotas.  
-Composta.  
-Medicamentos (propiedades anticonvulsivas, ansiolíticas, antioxidantes, antiinflamatorias y regulación del sistema inmune).



## Semillas

Por su alto valor proteico y grasa:  
-Alimentos o suplementos alimenticios.  
-Aceite sazonador o para cocinar.  
-Cuidado personal.  
-Harina y panes.  
-Granola.  
-Cerveza.  
-Sustituto de leche.  
-Proteína en polvo.  
-Alimento para animales.



También:

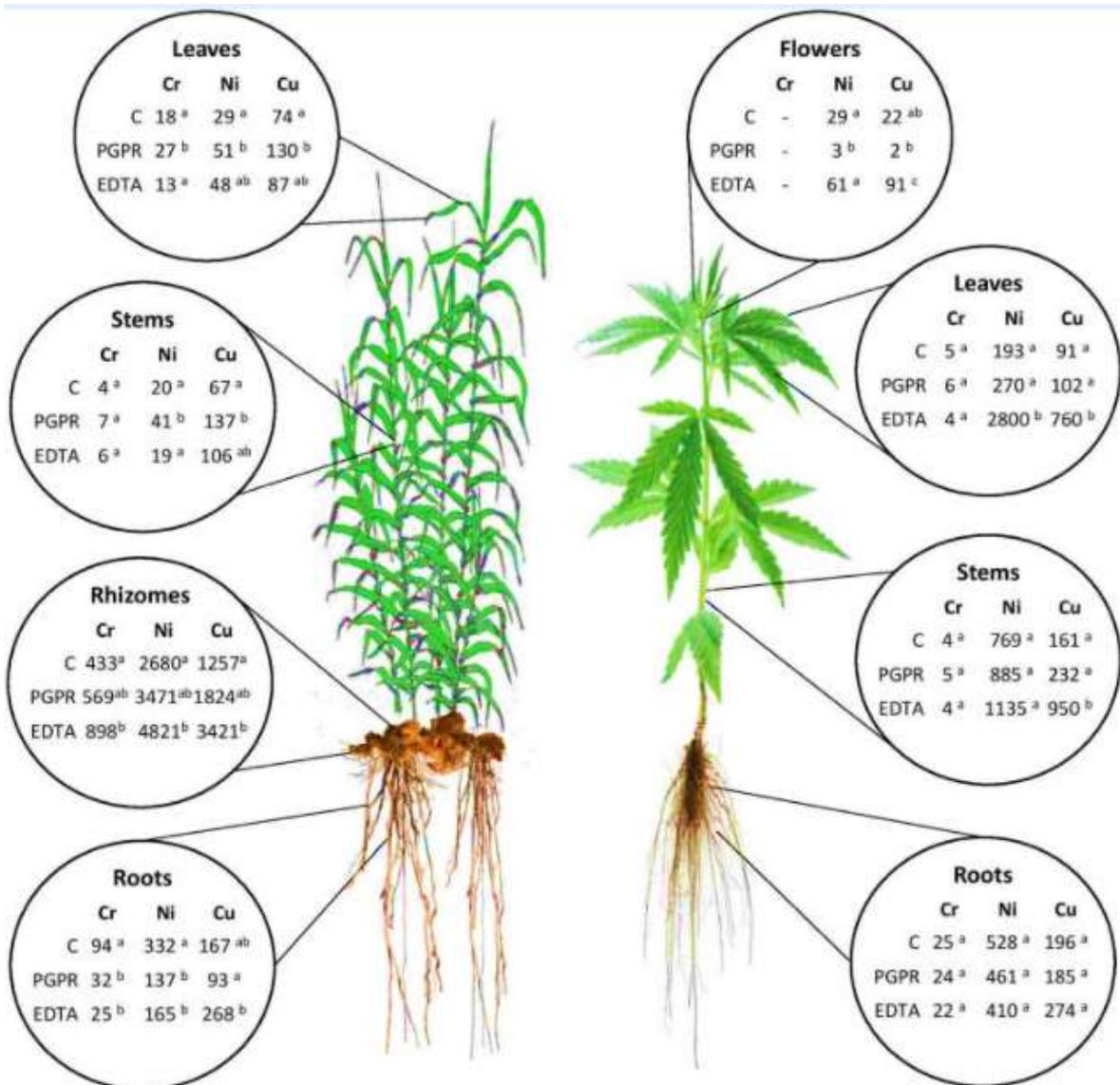
-Disolventes.  
-Pintura.  
-Combustible.  
-Borñices.  
-Detergentes.  
-Lubricantes.  
-Semillas para cultivo.

## Raíz

-Medicamentos.  
-Composta orgánica.



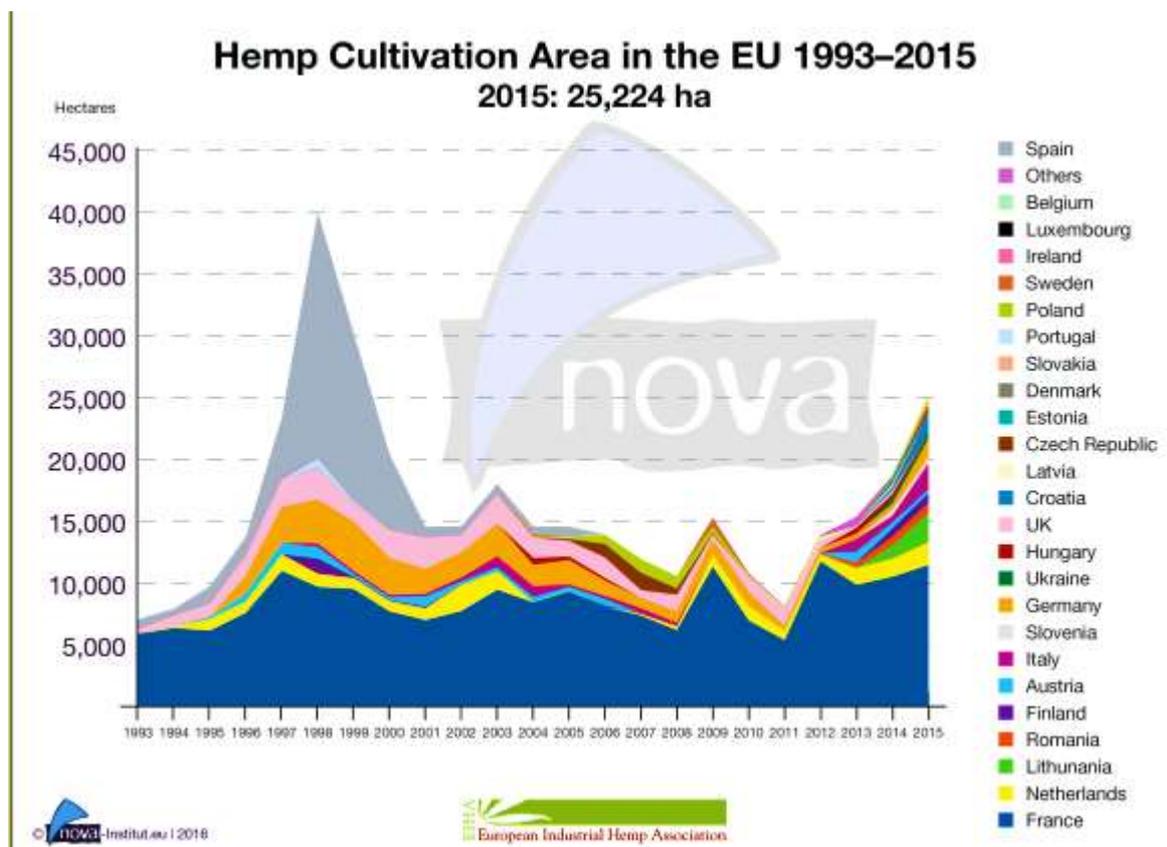
**Anexo 09:** Valores medios de absorción de Cr, Ni y Cu en Cannabis Sativa L y Arundo donax L para tres tratamientos



## Anexo 10: Buscador de metadatos crossref.



## Anexo 11: Hectáreas de cultivos de cáñamo industrial en Europa.



## Anexo 12: Aprovechamiento bioenergético del cáñamo industrial

