

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b> 130
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 8</b>

16.

**FECHA** Jueves, 25 de julio de 2019

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Seccional Girardot
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Medina Melo	Karen Dahiana	1110564536

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
Sandoval Valencia	John Jairo
Panetieri	Marco

**TÍTULO DEL DOCUMENTO**  
 Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 2 de 8</b>

RECUPERACION DE SUELOS DEGRADADOS: CASOS DE CONTAMINACION POR METALES PESADOS.

**SUBTÍTULO**  
(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**  
Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía  
Ingeniera ambiental

<b>AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO</b>	<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>
24/07/2019	73

**DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS**  
(Usar 6 descriptores o palabras claves)

<b>ESPAÑOL</b>	<b>INGLÉS</b>
1. Recuperación	Recovery
2. Degradación	Degradation
3. Contaminación	Pollution
4. Suelo	Ground
5. Técnicas	Techniques
6. Metales pesados	Heavy metals



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 3 de 8</b>

**RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS**  
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El suelo es considerado como la capa terrestre, en la cual se desarrolla la cobertura vegetal, los microorganismos y los otros organismos vivos, siendo así un recurso de gran importancia por los distintos usos que tiene, a pesar de ello se realizan prácticas negativas sobre el que ocasionan la alteración de las propiedades tanto físicas, químicas como biológicas que permiten tener como principal consecuencia la degradación del mismo.

Una vez se tiene la degradación del suelo se obtienen consecuencias como infertilidad, pérdida de especies tanto vegetales como animales, erosión, entre otras, afectando en ciertos casos de una manera alarmante, estas consecuencias dependen del impacto el cual estamos evaluando ya que distintas empresas como industrias, minería, sector agrícola, entre otras, causan una modificación negativa en el ecosistema, al no tener un respectivo tratamiento de los residuos o lixiviados que se generan, depositándolos directamente en el suelo generando de esta forma una contaminación en el recurso.

Es por ello que se implementan distintas técnicas de recuperación para prevenir, mitigar dicho impacto, y así se tenga una recuperación del suelo, uno de los contaminantes más persistentes que existen son los metales pesados, ya que su degradación resulta difícil, claro está que esto depende de su concentración y del tipo de contaminante que se trate.

Para tener más clara la información anteriormente descrita se lleva a cabo una recopilación de algunos casos estudio de contaminación por metales pesados que nos permiten describir las medidas de prevención que se tomaron en cuenta en determinados casos.

The soil is considered as the terrestrial layer, in which the vegetal cover is developed, the microorganisms and the other alive organisms, being this way a resource of great importance by the different uses that it has, in spite of this negative practices are realized on the that cause the alteration of the physical, chemical and biological properties that allow the degradation of the same as its main consequence.

Once you have the degradation of the soil you get consequences such as infertility, loss of both plant and animal species, erosion, among others, affecting in certain cases in an alarming way, these consequences depend on the impact which we are evaluating since different companies such as industries, mining, agricultural sector, among others, cause a negative modification in the ecosystem, not having a respective treatment of the waste or leachate that is generated, depositing them directly in the soil, generating in this way a contamination in the resource.



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 4 de 8</b>

That is why different recovery techniques are implemented to prevent, mitigate this impact, and thus have a recovery of soil, one of the most persistent pollutants that exist are heavy metals, since its degradation is difficult, of course this is it depends on its concentration and the type of pollutant that is being treated.

To clarify the information previously described, a compilation of some cases of heavy metal contamination study is carried out that allow us to describe the prevention measures that were taken into account in certain cases.

### AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 5 de 8</b>

que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI**  **NO**



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 6 de 8</b>

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

### LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.
- e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b> <b>PAGINA: 7 de 8</b>

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



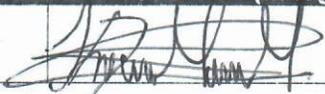
**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. RECUPERACION DE SUELOS DEGRADADOS: CASOS DE CONTAMINACION POR METALES PESADOS.	Texto, Imágenes
2.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
MEDINA MELO KAREN DAHIANA	

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

**RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS: CASOS DE CONTAMINACIÓN POR METALES  
PESADOS**

**KAREN DAHIANA MEDINA MELO**

**INGENIERIA AMBIENTAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**

**GIRARDOT**

**2019**

---

**RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS: CASOS DE CONTAMINACIÓN POR SUELOS  
DEGRADADOS**

**KAREN DAHIANA MEDINA MELO**

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD MONOGRAFÍA, PRESENTADO  
COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERA AMBIENTAL.**

**DIRECTOR**

**DOCTOR MARCO PANETIERI**

**Museo Nacional de Ciencias Naturales –**

**Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España**

**MNCN-CSIC**

**CODIRECTOR**

**JOHN JAIRO SANDOVAL VALENCIA**

**DOCENTE OCASIONAL TIEMPO COMPLETO UDEC**

**INGENIERIA AMBIENTAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**

**GIRARDOT**

**2019**

---

NOTA DE ACEPTACIÓN

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

DIRECTOR

\_\_\_\_\_

CODIRECTOR

\_\_\_\_\_

JURADO

\_\_\_\_\_

JURADO

\_\_\_\_\_

Girardot, \_\_\_\_\_, 2019.

---

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios, por permitirme lograr este nuevo paso en mi vida, por guiarme y fortalecerme en cada aspecto de mi vida.

A mis padres Rafael Antonio Medina y María Melo Valencia por apoyarme en esta decisión, por cada uno de sus esfuerzos, por ser mi principal motivación y estar siempre presente en cada suceso de mi vida.

Alcira Valencia de Melo por ser la persona que deja huella en mi vida por sus enseñanzas, su amor infinito y su apoyo incondicional.

Luz Marina Melo por apoyarme, preocuparse y siempre darme animo en este camino que emprendí.

A toda mi familia en general por su amor, colaboración, interés y cada palabra de apoyo brindada en este proceso

A mi familia en general, por todo el apoyo y colaboración brindada durante el transcurso de toda mi carrera.

A la Universidad de Cundinamarca, por haberme dado la oportunidad de ingresar a esta Institución y tener la oportunidad de crecer como persona y profesional.

Al docente y codirector de mi trabajo de grado John Jairo Sandoval, por todo el esfuerzo y dedicación durante el desarrollo del trabajo, por la asesoría brindada para poder culminar este trabajo.

Al director de mi trabajo de grado Marco Panettieri por su tiempo y la asesoría prestada a pesar de la distancia.

---

## **RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS: CASOS DE CONTAMINACION POR METALES PESADOS**

### **INTRODUCCIÓN**

“Degradación de pastizales por cambio climático genera millonarias pérdidas a comunidades” (Agronegocios 2019), noticias de este tipo son cada vez más comunes, debido a factores externos que en ciertas ocasiones resulta difícil controlar. Conforme a ello el programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD) plantea diferentes objetivos en los cuales pretende ofrecer una mejor calidad de vida a la población, promoviendo diferentes áreas de interés como el cuidado y preservación de los recursos naturales mediante prácticas sostenibles. Algunos de los objetivos que se destacan hacen referencia a: producción y consumo responsable de diversos productos, vida en la tierra, acción por el clima, entre otros, los anteriores son aspectos que están relacionados con el uso y protección del recurso suelo, siendo este un recurso tan vulnerable. Debido a ello, para tener una mayor eficiencia en el seguimiento de estos objetivos la ingeniería ambiental estudia como permite disminuir los impactos ambientales provocados por las actividades humanas, mediante la ejecución de diferentes proyectos, de esta manera concientizar a la comunidad con respecto a ciertas temáticas o prácticas para contribuir al mejoramiento del ecosistema. Actualmente Colombia es considerado como el segundo país con mayor riqueza de biodiversidad “tiene un estimado de 56.343 especies sin considerar la enorme diversidad de microorganismos existentes” (HUMBOLDT 2017), lamentablemente esta cifra puede verse afectada por la degradación existente ya que “Aproximadamente el 50% de las tierras continentales de Colombia presentan algún grado de degradación por erosión”(IDEAM 2014)

---

Siendo así, el suelo es considerado como la capa terrestre en la cual se desarrolla la capa vegetal, los microorganismos y los otros organismos vivos. Según el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) el suelo se define como “Un componente fundamental del ambiente, natural y finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y micro-organismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones vitales para la sociedad y el planeta.” (Siac 2017). A pesar de ser un recurso tan importante se realizan ciertas prácticas que ocasionan un impacto negativo en el mismo, generando una alteración en las propiedades del suelo causando así un proceso de degradación, el cual puede tener un origen tanto natural como antropogénico. Un grupo de elementos químicos que causan esta problemática son los metales pesados definidos como “aquellos que por sus efectos tóxicos y persistencia son considerados como polucionantes ambientales” (Valladares Ros et al. 2002), los cuales son provenientes de diferentes actividades tales como la minería, industrias, fertilizantes químicos, deficiente manejo de lixiviados entre otras, y que ocasionan un leve o grave deterioro al ecosistema.

Al tener la degradación presente, se perjudican la agricultura las actividades económicas cotidianas que realiza gran parte de la comunidad ya que al verse directamente afectada se disminuye de forma considerable la productividad agrícola. Además los efectos que este tipo de contaminación ocasiona en el medioambiente son alarmantes ya que están relacionados con el aumento de lixiviados y la contaminación de fuentes hídricas y aguas subterráneas, pérdida de la biodiversidad, afectación en la calidad del aire y del suelo, aumento en la erosión del suelo, disminución de actividades agrícolas, y alteración en la cobertura vegetal, entre otros.

“La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años.” (Gobierno de España 2015). A nivel mundial se estima que la problemática aumenta cada vez más debido al crecimiento de la explotación de recursos naturales por parte de las grandes industrias, ya que hoy en día el interés económico se ve como

---

prioritario en comparación a la sostenibilidad ambiental. “Los numerosos estudios e inversiones resaltan el gran interés y preocupación en diferentes países del mundo sobre la necesidad de evaluar la contaminación de metales pesados” (Reyes et al. 2016). En Colombia “una de las causas más frecuentes de contaminación en los suelos por metales pesados, han sido la adición masiva de insumos agrícolas y de lodos como práctica fertilizante; la deposición de elementos y sustancias atmosféricas generadas por la industria” (Silva et al. 2013), la aparición de metales pesados en suelos cada vez es más común pues se detecta la presencia de elementos como el plomo, selenio, cromo y mercurio En un contexto social, la degradación del suelo por metales pesados puede traer afectaciones a la población, ya que pueden favorecer al desarrollo de cierto tipo de enfermedades que se encuentran ligadas al contacto permanente o ingesta de estos elementos. Los metales pesados pueden estar presentes en el organismo pasando por la cadena trófica ya que se acumulan en distintos alimentos y a su vez mediante su ingesta se bioacumulan en los organismos, dado que su eliminación y excreción suele ser lenta o imposible. “La exposición a estos elementos está relacionada con problemas de salud como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e, incluso, con casos de muerte.” (Gobierno de la Rioja 2016).

A causa de la gran problemática que se enfrenta actualmente, se pretende elaborar este documento monográfico en el cual, se busca realizar una recopilación bibliográfica de las técnicas implementadas para realizar una oportuna recuperación en los suelos, además de conocer ciertos casos estudio sobre la degradación del recurso suelo por presencia de metales pesados y de esta forma identificar las implicaciones que conlleva para el medio ambiente y la salud humana la presencia de los mismos.

## JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales “problemas que padece la humanidad se encuentra relacionado con la degradación y pérdida de los suelos” (Ibañez, 2008). Al tener un gran inconveniente respecto a la temática, se lleva a cabo este documento monográfico con el fin de identificar la situación actual, destacar diferentes casos estudio de suelos contaminados por metales pesados, y conocer novedosas estrategias de remediación ambiental.

La situación actual del suelo está en amenaza a nivel mundial, según la FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura) “Alrededor del 33% del suelo del planeta está moderada a altamente degradado” (La información 2017), esto puede empeorar cuando esa degradación es provocada por metales pesados obteniendo situaciones alarmantes para la salud humana. “La exposición al arsénico, el cadmio, el cobre y el plomo está relacionada con un mayor riesgo de enfermedad cardíaca y ataques cerebrales, según un nuevo análisis publicado en el British Medical Journal” (Chowdhury et al. 2018). Similares afectaciones se evidenciaron en el medio ambiente en la zona minera El Alacrán, Córdoba-Colombia “mostraron concentraciones excesivas para hierro y cobre totales, indicando contaminación por cobre en los suelos agrícolas con valores de TCu (Concentración total de cobre) que superaron los máximos permisibles en todas las normas internacionales” (Martínez, et al, 2017).

La liberación de contaminantes al medio ambiente debido a las actividades antrópicas se ha incrementado enormemente; la producción a gran escala de compuestos químicos tales como solventes orgánicos, combustibles y sus aditivos, pesticidas, pigmentos, pinturas, plásticos y materias primas de origen químico ha causado el deterioro de la calidad ambiental en general, y de los suelos en particular.

---

La implementación de actividades relacionadas al uso de metales pesados ocasiona problemáticas para la producción agrícola del país ya que un suelo contaminado perdería su eficiencia y se obtendrían grandes reducciones en cosechas anualmente, además el aumento de enfermedades generadas por metales pesados y la contaminación de los alimentos serían problemáticas desastrosas. El número de especies en peligro de extinción aumenta al igual que el deterioro del suelo, agua y aire, al no implementar técnicas para su descontaminación. Con respecto a las técnicas existentes se debe de establecer una optimización en las técnicas de descontaminación existente basándose en datos científicos y trabajos de campo con el fin de conseguir nuevas técnicas o aplicarlas en los casos adecuados, para obtener resultados más satisfactorios.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Identificar las técnicas para la mejora de suelo degradados con presencia de metales pesados.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Conocer los efectos naturales y antropogénicos que ocasionan la contaminación del recurso suelo.
2. Identificar las consecuencias medioambientales causadas por la presencia de agentes contaminantes en el suelo.
3. Describir las novedosas y eficientes técnicas para la recuperación de suelos afectados por la presencia de metales pesados.

---

MONOGRAFIA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS CASOS DE CONTAMINACION POR  
METALES PESADOS

INDICE

CAPITULO I

1.1 Degradación de suelos

1.2 Causas de la degradación o pérdida de suelo

1.2.1 Procesos de degradación

1.2.1.1 Erosión

1.2.1.2 Degradación física

1.2.1.3 Desertificación

1.2.1.4 Degradación biológica

1.2.1.5 Degradación química

CAPITULO II

2.1 Importancia del estudio de la contaminación de suelos

2.2 Fuentes de contaminación por metales pesados

2.3 Dinámica de los contaminantes en el suelo

---

2.4 Retención de los metales en el suelo

2.5 Consecuencias de la contaminación

2.6 Normatividad

### CAPITULO III

3. Técnicas implementadas para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados

3.1 Descontaminación fisicoquímica

3.1.1 Extracción

3.1.2 Lavado

3.1.3 Flushing

3.1.4 Electrocinética

3.1.5 Adición de enmiendas

3.1.6 Barreras permeables activas.

3.1.7 Inyección de aire comprimido

3.1.8 Pozos de recirculación

3.1.9 Oxidación ultravioleta

3.2 Descontaminación biológica

3.2.1 Biodegradación asistida

3.2.2 Biotransformación de metales

3.2.3 Fitorecuperación

3.2.4 Bioventing

3.2.5 Landfarming

3.2.6 Bio-pilas

3.2.7 Compostaje

3.2.8 Lodos biológicos

3.3 Tratamiento Térmico

3.3.1 Incineración

3.3.2 Desorción térmica

3.4 Tratamiento Mixto

3.4.1 Extracción multifase

3.4.2 Atenuación natural

3.5 Contención y confinamiento

3.5.1 Barreras verticales

3.5.2 Barreras horizontales

3.5.3 Barreras de suelo seco

3.5.4 Estabilización fisicoquímica

3.5.5 Inyección de solidificantes

3.5.6 Vitrificación

## CAPITULO IV

4.1 Casos de estudio

4.2 Suelos contaminados como recurso

4.3 Bibliografía

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Factores que inciden en la remediación del suelo
--

LISTA DE IMAGENES

IMAGEN 1. Dinámica de los metales pesados en el suelo
IMAGEN 2. Consecuencias de la contaminación
IMAGEN 3. Extracción
IMAGEN 4. Lavado
IMAGEN 5. Flushing
IMAGEN 6. Electrocinética
IMAGEN 7. Adición de enmiendas
IMAGEN 8. Barreras permeables activas
IMAGEN 9. Biodegradación asistida
IMAGEN 10. Bioventing
IMAGEN 11. Sistema de recuperación mediante lodos biológicos
IMAGEN 12. Incineración

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Efectos de la degradación
TABLA 2. Formas químicas de los metales pesados en el suelo y disposición
TABLA 3. Límites permisibles de metales pesados en el suelo
TABLA 4. Normatividad mundial
TABLA 5. Normatividad en Colombia
TABLA 6. Ventajas y desventajas de las técnicas <i>in-situ</i> y <i>ex-situ</i>

---

## ESTADO DEL ARTE

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES DEL SUELO

El suelo es la capa terrestre externa considerada como un recurso de gran importancia que está “compuesto por minerales, materia orgánica, organismos, microorganismos, aire y agua” (FAO, 2017), el cual se usa para fines agrícolas, de recreación, ganaderos, extracción de minerales y asentamientos humanos, entre otros. Existen diferentes factores de formación del suelo como el clima, el material parental, los componentes inorgánicos, las comunidades de organismos, y el relieve que resultan indispensables para que exista una óptima calidad en el suelo, todos estos factores ayudan al proceso de formación el cual toma años en llevar a cabo dicho proceso “se precisan cientos de años para que el suelo alcance el espesor mínimo necesario para la mayoría de los cultivos” (FAO, 2016). El suelo se forma mediante “La roca, al ser meteorizada, queda alterada en el mismo lugar donde afloró en la superficie terrestre. Se va formando por este proceso un manto homogéneo y rico en nutrientes, por lo que es colonizado rápidamente por seres vivos” (Ministerio de educación de España, 2014).

Existen ciertas propiedades que caracterizan a un suelo determinado estas se clasifican en químicas, físicas y biológicas. En las propiedades químicas se encuentran: capacidad de intercambio catiónico (CIC), PH, elementos químicos del suelo, y conductividad eléctrica. En las propiedades físicas están presentes: la textura, la estructura, la consistencia, la densidad, la aireación, la temperatura y el color. Por último en las propiedades biológicas están: las formas de vida animal, la materia orgánica (ciclo de carbono) y los procesos de algunos elementos químicos (Nitrógeno, Azufre, Fosforo). Además de las propiedades existentes, la textura del suelo permite identificar según el diámetro de las partículas el tipo de suelo, “es una propiedad de gran interés que se relaciona

directamente con los procesos de degradación y potencial de producción”(Forestal et al 2014), de acuerdo a las partículas se clasifica en: arena (2mm-0,02mm), limo (0,02-0,002) y arcilla (<0,002mm). A su vez la diferenciación del perfil ayuda a tener una mayor precisión en la caracterización del suelo pues se considera como la “desviación típica de las elevaciones superficiales del suelo, considerando los cambios debidos a la pendiente del terreno” (Maykel et al 2013), el cual se conforma por distintos horizontes como A que se caracteriza por tener una tonalidad oscura ya que existe un alto contenido de materia orgánica, y un bajo contenido en minerales solubles, el horizonte B posee arcilla y una tonalidad más clara, el C está conformado por fragmentos de roca madre rodeados por una matriz arenosa-arcillosa, y D es la roca madre sin ningún tipo de alteración.

### **1.1 PROCESOS DE DEGRADACIÓN**

La degradación del suelo es considerada como “la pérdida de la productividad de un suelo, debido a la contaminación, una disminución de la fertilidad y/o a la erosión.”(La edafosfera 2015). Puede ser causada por diferentes procesos ambientales que suceden naturalmente como “la pérdida de cobertura vegetal, reducción de la materia orgánica, disminución de los organismos, compactación del suelo, deterioro de la estructura, acumulación de sedimentos, aumento de la pedregosidad,” (Rubio 2015), o por acciones antropogénicas. Existen diversas prácticas realizadas con cotidianidad que pueden llegar a contribuir en su aparición tales como la agricultura, ganadería, explotación excesiva de materias primas como carbón u oro y procesos industriales, entre otras.

Es por ello que se debe de tener en cuenta los tipos de degradación existentes para de esta forma optar por las medidas preventivas y recuperativas más adecuadas para un determinado caso. La degradación puede darse por: desplazamiento de partículas, degradación por estrés, degradación por ocupación, requerimientos de

rehabilitación, degradación por cambio global. La problemática esta tanto en el desarrollo de la actividad como en el manejo inadecuado de los desechos o residuos que genera la misma, pues se ha determinado un aumento en los últimos años “La mitad de la capa superficial del planeta se ha perdido en los últimos 150 años”.(WWF 2016). Por ello es pertinente clasificar la degradación de acuerdo a los procesos entre los cuales se destacan: la erosión, degradación física, desertificación, degradación biológica, y degradación química.

<b>CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN</b>	<b>EFFECTOS</b>
Disminución y degradación de la cobertura vegetal natural	El bosque es sustituido por formaciones secundarias de arbustos. El suelo menos rugoso o desnudo es más vulnerable a la erosión.
Reducción en el contenido en materia orgánica	Pérdida de fertilidad: Física (por estructura), química (disminuye poder amortiguador e intercambio iónico), y biológico (sustento de organismos).
Disminución de los organismos del suelo.	Alteraciones en la evolución de la materia orgánica, edafización, y fijación de nitrógeno.
Reducción excesiva de la biomasa y pérdida de biodiversidad natural	Invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados.
Aceleración de la erosión del suelo tanto causada por el agua como por el viento, por alteración del suelo y vegetación.	Erosión hídrica y eólica, como consecuencia de la menor cobertura vegetal

Compactación del suelo por el uso de maquinaria o labores inadecuadas o sobrepastoreo.	Disminución de la porosidad, de la capacidad de infiltración y de la capacidad de retención de humedad
Deterioro, incluso pérdida, de la estabilidad estructural del suelo y tendencia a la formación de costras.	Se incrementa los valores de las escorrentías superficiales y su potencial erosivo.
Transferencias de materiales edáficos y nutrientes de las partes altas de las laderas a las bajas.	Eliminación de los horizontes superficiales en las partes elevadas de las laderas.
Acumulación de sedimentos y nutrientes al pie de las laderas, vaguadas, lechos fluviales y embalses.	La acumulación puede convertir en improductivo el suelo cubierto, o puede colmatar embalses.
Aumento de la pedregosidad por transporte de los materiales más fino del suelo.	El suelo puede llegar incluso a quedar cubierto en superficie totalmente de piedras.
Disminución del espesor del perfil edáfico. Incluso puede aflorar en superficie el material parental.	Deja patente en el paisaje un vistoso mosaico de colores, por truncamiento de los horizontes superiores. Pérdida de suelo fértil en las zonas altas. Alteración de la infiltración en el perfil edáfico.
Pérdida de los materiales más finos superficiales. Pérdida de la base de sustentación de las raíces de las plantas.	Presencia de columnas, pedestales y montículos de erosión. En árboles pueden aparecer las raíces al aire.
Incisiones de diversa magnitud en el terreno.	Surcos, cárcavas, y barrancos.

Contaminación del suelo. Salinización y alcalinización del suelo. Acidificación.	Perdida de fertilidad. Contaminación de aguas superficiales y acuíferos.
Ocupación del suelo por obras e infraestructuras.	Pérdida horizontal de suelo fértil
Incendios forestales provocados	Pérdida de biodiversidad y de suelo fértil. Alteración del equilibrio en el ecosistema edáfico.
Perturbación en la regulación del ciclo hidrológico.	Reduce la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y agravar los efectos de la sequía. Puede haber mayores riesgos por inundación y avenidas.
Degradación de los recursos hídricos.	Reducción del agua disponible debido a la alteración del ciclo hidrológico y a la sobreexplotación de acuíferos. Desaparición de fuentes y manantiales y de los humedales y fauna a ellos asociados.

Tabla1. Efectos de la degradación

Fuente:<http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-10/DEGRADACION-DE-SUELOS.pdf>

### 1.1.1 EROSIÓN

La erosión es conocida como “el proceso de desgaste o deterioro que ha sufrido el suelo, en el cual ciertas partículas que conforman el suelo se desprenden por acción del agua, hielo o viento” (UNAL 2017), posee tres fases las cuales son desprendimiento, transporte y sedimentación, en donde se encuentra muy relacionada su clasificación: erosión hídrica y erosión eólica. La erosión hídrica hace referencia a aquella que se produce por acción y efecto del agua ya que este proceso se origina mediante la escorrentía, y las partículas que conforman el suelo son transportadas, de esta manera el suelo comienza a tener una deficiencia en cuanto a su composición de igual manera que con la lluvia pues el constante goteo genera un desprendimiento en él. Este fenómeno depende principalmente del tipo de suelo y del volumen de agua, en cuanto a la erosión eólica se da principalmente por el viento pues por medio de su corriente son transportadas ciertas partículas que se desprenden del suelo y chocan entre sí. Este proceso puede ser afectado por diversos factores como por ejemplo:

- Cantidad e intensidad de precipitación: La lluvia y la cantidad de suelo erosionado se encuentran relacionados debido a que la distribución y frecuencia afectan de forma directa en la erosión del suelo.
- Velocidad del viento: Las constantes corrientes del aire causan el desprendimiento de las partículas que están en el suelo y a su vez cuando estas se intensifican en número de partículas aumenta.
- Pendiente: Tiene mucho que ver con la influencia de la erosión puesto que cuando un ángulo es mayor existe mayor probabilidad de que ocurra el proceso pues las partículas son transportadas ladera abajo.
- Estructura del suelo: Las características que tiene el suelo son claves para determinar el grado de influencia ya que se desata principalmente en suelos arenosos y limosos.

- Cobertura del suelo: La vegetación ayuda a que el impacto no se genere, pues actúa como capa protectora pero esto depende del tipo de vegetación.

Además la erosión se puede acelerarse por diferentes prácticas erróneas que se realizan como: uso incorrecto del suelo, prácticas agrícolas erróneas, deforestación, y minería, entre otras, que contribuyen a una sobreexplotación y hacen que de esta manera se conviertan en suelos poco fértiles obteniendo así una gran pérdida, puesto que una vez finalizada la actividad es tarea difícil encontrarle un respectivo uso a esos suelos. Además para ello se tiene que hacer respectivas evaluaciones para conocer el nivel en el cual el suelo ha sido intervenido “Se identificaron la erosión del suelo y las fuentes de contaminación de metales pesados y se evaluaron sus distribuciones en la Cuenca del Lago Songkhla, al sur de Tailandia, mediante el análisis de cientos de suelos.” (Ladachart, et al 2012).

A nivel mundial la erosión es un tema que está causando bastante preocupación ya que las intervenciones son cada vez mayores y a pesar de que se tiene unas estadísticas en las cuales se revela la problemática actual por parte de ciertas organizaciones existe cierta reticencia en actuar de forma contundente para encontrar soluciones.

### **1.1.2 DEGRADACIÓN FÍSICA**

La degradación física pertenece al conjunto de problemáticas que se encuentran directamente relacionadas con el paso del agua y aire en el suelo es decir referente a la porosidad. Debido a esos cambios en la porosidad pueden ocurrir una serie de procesos como la pérdida de nutrientes, y alteraciones en el crecimiento de raíces.

Generalmente estos procesos se llevan a cabo en la superficie y como consecuencia se tiene capas del suelo compactadas, sellamiento de la superficie, y costras. Muchos de esos problemas son originados por malas prácticas agrícolas que prevén labores demasiado profundas o con una frecuencia inadecuada.

---

### **1.1.3 DESERTIFICACIÓN**

El principal factor que causa la desertificación en el suelo son las altas temperaturas y cierto tipo de actividades antropogénicas. Este proceso puede desarrollarse tanto en zonas Áridas o subhúmedas afectando de forma general el ecosistema, esto se da como una consecuencia por el uso inapropiado del suelo. “La desertificación del suelo es una problemática a escala mundial por sus efectos ambientales, económicos y sociales, principalmente, por su estrecha relación con la pobreza y el hambre considerándose una amenaza para el desarrollo sostenible.”(Molina and Lozano 2017)

### **1.1.4 DEGRADACIÓN BIOLÓGICA**

Hace referencia a la pérdida de la materia orgánica y los organismos que están en ella, modificándose de esta manera las características que tiene el suelo, como la capacidad de transformación, reciclado y absorción de nutrientes por las plantas. El uso inadecuado del suelo y la implementación de diversas tecnologías pueden llegar a causar este tipo de degradación sin olvidar la inadecuada disposición de sustancias tóxicas que pueden ocasionar la muerte de ciertos microorganismos de gran importancia para distintos procesos que ocurren en el suelo como por ejemplo las bacterias nitrificantes, que se encargan de fijar el nitrógeno en el sustrato por medio de un ciclo bioquímico, o la micro fauna como las lombrices, que desarrollan un importante papel en la redistribución de nutrientes y en el mantenimiento de una correcta estructura del suelo.

### 1.1.5 DEGRADACIÓN QUÍMICA

Se origina por la acumulación de diferentes sustancias pertenecientes a distintos procesos de una respectiva actividad económica, se encuentra relacionada con la degradación biológica y se evidencia cuando hay un agotamiento de nutrientes, acidificación, y un aumento del contenido de las sales en el suelo

La degradación del suelo no es solo considerada como una problemática ambiental sino también económica y social ya que sus consecuencias afectan con una gran magnitud diferentes aspectos, dado que teniendo un suelo degradado en altos niveles es imposible desarrollar muchas de las funciones características del suelo generando pérdidas económicas. A parte del aspecto económico hay que tener en cuenta que los desastres ambientales relacionados con esta problemática aumentan cada vez, esto se da como consecuencias de la implementación de distintas actividades que carecen de una visión de sostenibilidad a largo plazo, pues existen cifras en las cuales se destacan el gran número de hectáreas degradadas por distintas razones una de ellas es la presencia de sustancias tóxicas como metales pesados. A pesar de que muchos países tengan estipulado una normativa para tener un control con respecto a las concentraciones permisibles de esos metales, hay otros que no como lo es el caso de Colombia que tiene distintas normativas para sus recursos pero que aún no se ha creado una para reglamentar este tipo de impactos, los metales pesados en el suelo causan nefastas consecuencias cuando los niveles permisibles alcanzan los niveles no permitidos “Con el desarrollo de la economía mundial, tanto el tipo como el contenido de metales pesados en el suelo causados por actividades humanas han aumentado gradualmente en los últimos años, lo que ha provocado un grave deterioro del medio ambiente” (Mulyani, 2015).

---

## CAPITULO II

### 2.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN

Para cualquier proceso que se pretende desarrollar, previamente se debe de realizar un oportuno estudio en el que nos permite conocer el estado actual de un determinado medio. Así mismo ocurre en el caso del suelo, pues de esta forma logramos identificar las características que este posee mediante la evaluación de diferentes parámetros, el reconocimiento del sitio y los aspectos generales, entre otros, cuando este ha sido modificado por su uso o intervenciones humanas se elabora un diagnostico el cual nos permite evaluar el nivel de contaminación por el cual se encuentra afectado. Tener en cuenta un estudio de la contaminación del suelo resulta un tema relevante “Expertos en el análisis medioambiental destacan la importancia de los Análisis Preliminares de los suelos, una investigación de suelos progresiva es fundamental para optimizar los recursos”(Silva, 2011). Siendo así con este respectivo análisis se logra tener un sólido conocimiento del tipo de contaminante o actividad que está interfiriendo en el ecosistema para así tomar las correctas medidas de prevención y técnicas de recuperación del mismo.

Al no tener en cuenta como fase inicial el oportuno estudio del suelo se tendría una grave afectación tanto en el ecosistema como en la salud humana ya que la información a cerca de un contaminante toxico presente en el suelo nos ayuda a elegir medidas de prevención en cuanto a la disposición de los recursos naturales “los estudios de suelos también suelen ser requeridos, como documentación complementaria, de sostenibilidad ambiental, cuando la actividad es potencialmente contaminante de los mismos”(pleiadesic, 2017). Por ejemplo al tener un suelo altamente contaminado no podemos hacer uso del mismo ya sea para actividades recreativas o producción agrícola puesto que los alimentos pueden llegar a estar contaminados por el hecho de haber crecido en un medio en malas condiciones.

## 2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.

Los metales pesados son considerados como un grupo de metales característicos por tener una densidad igual o mayor a  $5\text{g cm}^3$ , están presentes en la corteza terrestre en una concentración menor a 0,1% considerado como normal pues estos compuestos se encuentran en una cantidad mínima de orden geológico y en forma química insoluble es decir que tienen una limitada afectación hacia el medio ambiente. Pero ciertas actividades antropogénicas permiten que se acumulen en el sustrato con una gran concentración y de forma soluble causando contaminación en fuentes hídricas, suelo y aire. Algunos de los contaminantes que podemos hallar en este grupo son los siguientes:

- Cadmio: Es un elemento que puede ser encontrado de forma natural en ciertas rocas y suelos, de forma antropogénica en procesos industriales y productos agrícolas.
- Plomo: Es uno de los más conocidos debido a que su uso es antiguo, puede ser encontrado principalmente en las industrias por sus características anticorrosivas.
- Mercurio: Es un metal en forma líquida a temperatura ambiente, se encuentra en actividades industriales y en extracción y decantación de minerales como el oro.
- Arsénico: Se encuentra con facilidad en la atmósfera, biosfera e hidrosfera, se logra identificar su presencia en zonas industriales.

Las diferentes actividades que pueden dar lugar a la contaminación de los suelos son: la minería, la agricultura, las curtiembres, metalúrgica, industrias de pintura, entre otras, las cuales en altas concentraciones causan una contaminación en el suelo que es considerada como “la alteración de la superficie terrestre con sustancias químicas que resultan perjudiciales para la vida en distinta medida, poniendo en peligro los ecosistemas y también nuestra salud”(Canal Clima 2012).

Los metales pesados pueden estar presentes en el medio ambiente en diferentes recursos uno de ellos es el aire puesto que mediante distintas emisiones que se generan por parte de las industrias en diversas etapas, estas se vierten en ocasiones directamente sin ningún tipo de tratamiento previo, quedando una cantidad en ocasiones alarmante de partículas suspendidos en el aire " el mercurio de actividades humanas ingresa a la atmosfera, procedente de la volatilización en las fusiones metálicas y de la combustión del carbón y otros combustibles fósiles, además de la fabricación de cloro"( Velasco 2015). Mediante las fuentes de agua también se encuentran los metales puesto que la mayoría de empresas colombianas vierten sus lixiviados directamente al cuerpo de agua y estos lixiviados tienen altas concentraciones de contaminantes lo que hace que afecte también el recurso suelo mediante la circulación de los efluentes. "Las aguas procedentes de las industrias como la minera, la de recubrimientos metálicos, las fundidoras y otras más contaminan el agua con diversos metales. Por ejemplo, las sales de metales como el plomo, el zinc, el mercurio, la plata, el níquel, el cadmio y el arsénico son muy tóxicas para la flora y la fauna terrestres y acuáticas"(Contaminación 2016.)

Cuando los metales pesados exceden las concentraciones permisibles se generan condiciones peligrosas para la salud y el medioambiente, "La contaminación por metales pesados es un problema que ha ido en aumento debido principalmente a actividades antrópicas" (Covarrubias and Cabriaes 2017) este tipo de elementos se encuentran presentes en distintas fuentes como por ejemplo en la fabricación de electrodomésticos, en fármacos con usos medicinales, en materiales de construcción, en joyería, en maquinarias, automóviles, en la agricultura, muebles, sistemas de seguridad, extracción de hidrocarburos, entre otros. Todas estas actividades tienen una gran influencia en la aparición de metales en el ambiente ya que mediante los procesos de fabricación se requieren de su uso para llevar a cabo un efectivo proceso de elaboración de un producto determinado.

---

En la fabricación de electrodomésticos, baterías y material informático se requieren metales como aluminio, plomo, cadmio y mercurio, entre otros, puesto que son claves para facilitar la transferencia de electricidad ya que cierto grupo de metales son conocidos como buenos conductores además es una industria con bastante auge “En las últimas décadas y principalmente al inicio del nuevo siglo, se ha incrementado en grandes proporciones la fabricación, el consumo y el desecho de aparatos eléctricos y electrónicos, por la gran cantidad de beneficios y facilidades que ha dado al desarrollo de la humanidad”(Aguilera, 2011).

En materiales de construcción se evidencia una presencia de este grupo de elementos como el hierro, cobre, zinc, titanio y acero, pues se requieren en la construcción de edificios y casas además de la elaboración de elementos como bisagras, puertas, tejas, etc. Recientes investigaciones en la ciudad de Bogotá determinan “Altas concentraciones de plomo ( $5.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $10.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se explican por la presencia de este metal en las emisiones de actividades de fundición secundaria de cobre, acero, plomo, aluminio y cinc, fabricación de artículos de vidrio las cuales se encuentran referenciadas en el inventario de fuentes fijas de la localidad de Puente Aranda”. (Bogotá DC 2006)

En artículos de joyería se identifica la presencia de oro, plata, mercurio, platino, cobre, tanto para su elaboración como para su extracción, siendo una de las actividades más apetecidas por causar distinción debido a sus altos costos. “El metal precioso por excelencia es el oro, del que se producen anualmente aproximadamente unas 2.400 t y cuya demanda se acerca a las 3.600 t, siendo Sudáfrica, con 275 t, la mayor productora mundial.”(Villanueva 2012)

En la industria automotriz se requiere el uso de metales como el plomo, cromo, cadmio, zinc, y níquel para la elaboración de vehículos debido a que son elementos que convierten el producto en resistente a las condiciones ambientales como humedad, temperatura, etc. “los metales constituyen cerca del 75% del peso de los vehículos,

---

de los cuales alrededor del 60% es aceros tradicional y de alta resistencia y el 7% es AHSS (Acero avanzado de alta resistencia)".(Islas 2016,).

La agricultura es otra actividad destacada por contener metales pesados como el plomo y cadmio principalmente por la presencia de contaminantes en los fertilizantes usados para mejorar el rendimiento o productividad de las plantas, a pesar de ello "no se dispone de información sistemática y ordenada sobre la contaminación de suelos con metales pesados provenientes de fertilizantes químicos, a pesar de su creciente utilización." (Villanueva Rodríguez 2012).

### **2.3 DINAMICA DE LOS CONTAMINANTES EN EL SUELO**

El sustrato es considerado como un medio receptor de distintas sustancias contaminantes debido a que se encuentra directamente relacionado con distintos medios como la biosfera, litosfera, hidrosfera y atmosfera lo cual hace que se facilite el transporte de diversas sustancias. La contaminación está asociada a un proceso de movilización de contaminantes el cual depende tanto de las características que posee el suelo como la composición química del contaminante "la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes inferiores en muy pequeñas cantidades." (Silva et al.2015).

Una vez los metales pesados ingresan al sustrato pueden movilizarse mediante diferentes procesos o pueden quedar retenidos en él, "los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida" (TDX, 2014) esta redistribución se caracteriza por tener al inicio una rápida retención y las reacciones siguientes lentas pero esto puede variar de acuerdo al tipo de contaminante, tiempo y tipo de suelo.

El transporte de los contaminantes en el suelo se da mediante diferentes procesos principalmente físicos se dividen en: advección, difusión, y dispersión mecánica, los procesos biológicos y químicos permiten la caracterización del flujo de contaminantes en el suelo dentro de los cuales se destacan: sorción, adsorción, radioactividad, disolución-precipitación, reacciones ácido-base, reacciones oxidación-reducción y biodegradación.

En los procesos físicos:

- **Advección:** Es el proceso mediante el cual los solutos se transportan a una velocidad promedio igual a la velocidad del fluido.
- **Difusión:** Es el proceso en el que una sustancia química migra como respuesta a un gradiente de concentraciones.
- **Dispersión mecánica:** El contaminante se disemina por las variaciones de velocidad de escurrimiento en los materiales porosos.

Referente a los procesos biológicos y químicos se describen los más relevantes:

- **Sorción:** Es cuando una sustancia atraviesa una barrera trasladándose de una fase a otra.
- **Adsorción:** En este proceso una sustancia busca unirse a las partículas del suelo como resultado de las reacciones de atracción mediadas por afinidad entre ella y las partículas sólidas del mismo.
- **Biodegradación:** Es la descomposición de una sustancia por acción de la luz solar o de la acción degradadora de las comunidades de microorganismos del suelo. Esos procesos no son posibles para metales pesados.

El destino final de un contaminante químico en el medio depende de dos factores las reacciones en las que una sustancia química pueda participar y la velocidad de transporte de dicha sustancia en el medio (IDEAM 2013).



Imagen 1. Dinámica de los metales pesados en el suelo

Fuente: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11036/Tasm11de16.pdf?sequence=11>

## 2.4 RETENCION DE LOS CONTAMINANTES EN EL SUELO

Los metales pesados pueden estar presentes en el suelo en diferentes formas como por ejemplo: Solubles en solución del suelo, constituyentes de los minerales secundarios del suelo e iones intercambiables, afectando de esta manera la calidad del suelo y suponiendo un factor de riesgo medioambiental y una causa para el proceso de deterioro. Una vez presentes los contaminantes en el sustrato pueden sufrir otros procesos como la retención en el suelo, absorción de las plantas, incorporación en la atmosfera por un proceso de volatilización y movilización a través de las aguas tanto superficiales como subterráneas, dependiendo del tipo de contaminante, del nivel de contaminación, del tipo de suelo, del entorno geográfico y de la vegetación. Todos estos datos son de gran importancia para llevar a cabo un estudio de la contaminación del suelo, que permite identificar estrategia de tratamiento que resulte en una recuperación oportuna y eficaz.

Un caso de estudio según los conceptos mencionados anteriormente es una investigación que se realizó en el Parque Industrial Río Seco y la Quebrada de Añashuayco durante un periodo de tres meses y que concluyó: “la evaluación de la retención de metales pesados, se concluye que existe una mayor concentración a la profundidad de 0 a 15 cm como en el caso del Hierro y del Zinc con concentraciones que oscilan entre 9.314,59 –13.540, 91mg/kg y 33,07 – 69, 99mg/kg respectivamente.”( Castro, 2016).

## FORMAS QUÍMICAS DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO

Formas de retención en el suelo	Disponibilidad relativa
Ion en la disolución del suelo	Fácilmente disponible
Ion en complejo de intercambio orgánico o inorgánico	Disponible
Metales complejados o quelatados por compuestos orgánicos.	Menos disponible
Metal precipitado o coprecipitado	Disponible solo si ocurre una alteración química
Incorporado en la matriz biológica	Disponible después de la precipitación o degradación de la matriz biológica
Metal en la estructura mineral	Disponible después en la alteración mineral

Tabla 2. Formas químicas de los metales pesados en el suelo y disponibilidad relativa en las plantasFuente:  
[http://www.infoagro.com/abonos/contaminacion\\_suelos\\_metal\\_pesados.htm](http://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metal_pesados.htm)

### 2.5 CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACION

La gravedad de las implicaciones ambientales que se generan por la presencia de metales pesados en los suelos depende de la fuente de contaminación y de las concentraciones de los metales pesados pues en casos muy elevados puede llegar a causar hasta la muerte tanto en especies animales como humanas. “Según datos de la OMS, cada año pierden la vida más de 12 millones de personas por habitar en medios insalubres, siendo los accidentes cerebrovasculares la primera causa de morbilidad”(Envirosoil 2018). La contaminación en el sustrato se puede dar por diferentes razones como la mala disposición final de cierto tipo de residuos, uso de agentes químicos, erosión, pérdida de la cobertura vegetal, y deficiente tratamiento de drenajes, entre otras prácticas.

---

Muchos de los contaminantes tienden a bioacumularse en distintos medios principalmente el suelo, donde pueden afectar y alterar la cadena trófica y a su vez generando cierto tipo de consecuencias que pueden ser clasificadas por el medio que afecta:

Peligros toxicológicos para la salud humana:

- Lesiones dérmicas por el contacto permanente u ocasional del sustrato.
- Intoxicación por penetración cutánea
- Intoxicación por inhalación de contaminantes afectando vías respiratoria y demás órganos que bioacumulan sustancias químicas nocivas.

Peligros eco tóxico:

- Envenenamiento de las plantas por la absorción de contaminantes
- Pérdida de especies animales por intoxicación
- Pérdida de la cobertura vegetal
- Degradación paisajística
- Disminución de la productividad del suelo
- Cambios en la estructura del sustrato.
- Cambios en las comunidades de microorganismos del suelo
- Pérdida de nutrientes

- Evaporación de compuestos volátiles

Peligros físicos:

- Fuego y explosión
- Alteración en las propiedades mecánicas del suelo

Estas consecuencias dependen principalmente de la exposición de los organismos a ciertos elementos químicos es decir el tiempo en el que se encuentra en contacto con el contaminante, la concentración del compuesto, la forma de exposición, y quien está expuesto.

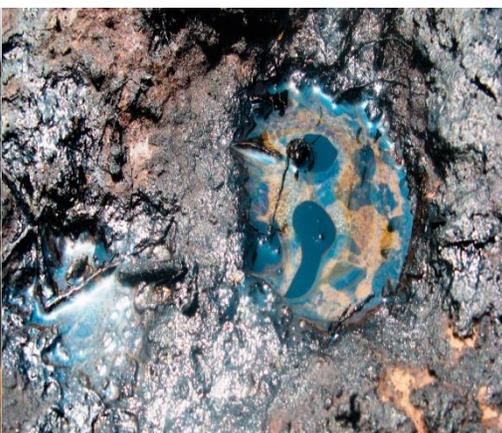


Imagen 2. Consecuencias de la contaminación (4 IMÁGENES)

Fuente: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2015/12/06/146578>

## LIMITES PERMISIBLES DE METALES PESADOS EN EL SUELO SEGÚN LA UNITED STATES

### ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA)

Contaminantes	Aplicación terrestre de biosólidos para huertos caseros.	Nivel de selección regional para sitios de Superfondos, suelo residencial	Umbral de concentración total límite para residuos tóxicos peligrosos
Antimonio	-	31	500
Arsénico	41	-	500
Bario	-	15000	10000
Berilio	-	160	75
Cadmio	39	-	100
Cromo	-	120000	2500
Cobalto	-	23	8000
Cobre	1500	3100	2500
Plomo	300	-	1000
Mercurio	17	23	20
Molibdeno	-	390	3500
Níquel	420	1500	2000

Selenio	100	390	100
Plata	-	390	500
Paladio	-	-	700
Vanadio	-	390	2400
Zinc	2800	23000	5000

Tabla. 3 Límites permisibles de metales pesados en el suelo

Fuente: <http://www.aiswcd.org/wp-content/uploads/2013/04/u031.pdf>

## 2.6 NORMATIVIDAD

Con respecto al control de la calidad del medio ambiente se ha creado una serie de normas que buscan tener un control de ciertas actividades que generan diferentes tipos de contaminantes, para que de esta manera el sustrato y el medio ambiente se encuentre en óptimas condiciones para el desarrollo de diferentes actividades o usos.

A nivel mundial existen organizaciones interesadas en el tema de un uso y explotación responsable del recurso suelo “La carta mundial de los suelos (CMS) representó un importante instrumento normativo acordado por los Estados Miembros, cuyos principios debían ser promovidos por la Alianza Mundial sobre los Suelos (AMS). Se han decretado una serie de normas como ejemplo:

Normatividad

DECRETO-LEY-NORMA	AÑO	DESCRIPCION
Declaración de Estocolmo de la conferencia de las naciones unidas sobre el medio ambiente.	1972	Los recursos naturales de la tierra, incluidos el aire, el agua, la tierra, la flora y la fauna y especialmente muestras representativas de los ecosistemas naturales, deben preservarse

		en beneficio de las generaciones presentes y futuras mediante cuidadosa planificación u ordenación, según convenga.
Cumbre de Rio de Janeiro	1992	Se propuso una Agenda para el siglo XXI con el objetivo de caminar hacia la sostenibilidad, reafirmando lo tratado en la conferencia de Estocolmo.
CNUMAD (Conferencia de las naciones unidas sobre medio ambiente y desarrollo)	1972	Discusión a nivel internacional la aplicación de una política ambiental integrada al desarrollo que tuviera en cuenta, además, a las generaciones venideras.
Decreto 865/	2010	Sobre los limites aceptados en sustratos de cultivo
Decreto 1310	1999	Se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario
Directiva 2008/1/CE (Parlamento europeo)	2008	Prevención y control de la contaminación.
Directiva 2004/35/CE (Parlamento europeo)	2004	Directiva del parlamento europeo y del consejo, sobre la responsabilidad medio ambiental en relación con la prevención y reparación de daños ambientales.
Ley 22	2011	Se introduce el concepto de recuperación voluntaria de recuperación de suelos contaminados.
NOM 138 SEMARNAT	2012	Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos
NOM 147 SEMARNAT	2004	Establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados.

Tabla 4. Normatividad mundial

Fuente: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32004L0035>

En Colombia se ha creado una serie de políticas que hacen referencia al cuidado y protección del medio ambiente.

DECRETO-LEY	AÑO	DESCRIPCION
Decreto 2811 parte VII	1974	Del suelo agrícola y de los usos no agrícolas de la tierra.
Decreto 2655	1988	Código de Minas
Decreto Reglamentario	1989	Sobre explotación de materiales de construcción.
Ley 388, Artículo 33	1997	Ordenamiento territorial, que reglamenta los usos del suelo.
Constitución Nacional de Colombia 1991	1991	Preservar los elementos naturales en el marco del desarrollo sostenible y en beneficio del pueblo colombiano
Norma técnica colombiana 3656	1994	Toma de muestras de suelo para determinar contaminación

Tabla. 5 Normatividad en Colombia

Fuente: [https://www.minambiente.gov.co/images/Atencion\\_y\\_participacion\\_al\\_ciudadano/Consulta\\_Publica/Politica-de-gestion-integral-del-suelo.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/Consulta_Publica/Politica-de-gestion-integral-del-suelo.pdf)

### CAPITULO III

#### 3.1 TECNICAS PARA LA DESCONTAMINACION DE SUELOS POR METALES PESADOS

Por el constante aumento de la contaminación por diferentes sustancias que están presentes en el medio por actividades antropogénicas se tienen en cuenta diferentes procedimientos para reducir o controlar los niveles de contaminación en el suelo, permitiendo tener una óptima calidad de los recursos naturales. Estas técnicas se dividen de acuerdo a diferentes tipos de descontaminación las cuales son: descontaminación físico-química, descontaminación biológica, tratamiento térmico, tratamiento mixto, contención y confinamiento. A continuación se describe cada una de las técnicas con sus respectivos procedimientos.

#### FACTORES QUE INCIDEN EN LA REMEDIACION DEL SUELO

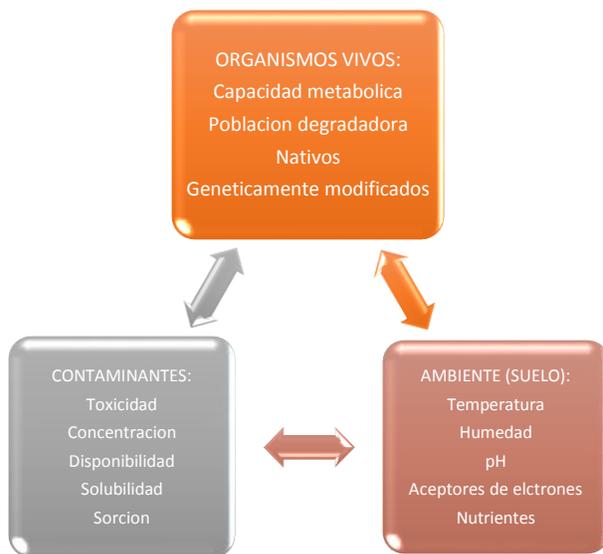


Figura 1. Factores que inciden en la remediación del suelo

Fuente: Sepulveda, Tecnologías de remediación para suelos contaminados.

### 3.1 TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

3.1.1 Extracción: Es un proceso que se lleva a cabo de forma *in-situ* es decir directamente en el lugar afectado y consiste en la separación del contaminante para posteriormente realizar un tratamiento depurador. Se requiere que el suelo sea principalmente permeable y que los contaminantes tengan fácil movilidad y no estén retenidos en él. La extracción se puede dar mediante el aire que se implementa para eliminar los contaminantes que están presentes en las partículas del suelo por acción de la volatilización usando pozos de extracción de forma tanto vertical como horizontal que hacen que la corriente de aire pase y conduzca a los contaminantes hacia la superficie. De esta manera pueden ser tratados o simplemente se degradan de forma natural por condiciones ambientales, esta técnica es usada principalmente para tratar contaminantes como hidrocarburos semi-volátiles, sustancias volátiles, y algunos disolventes no clorados.

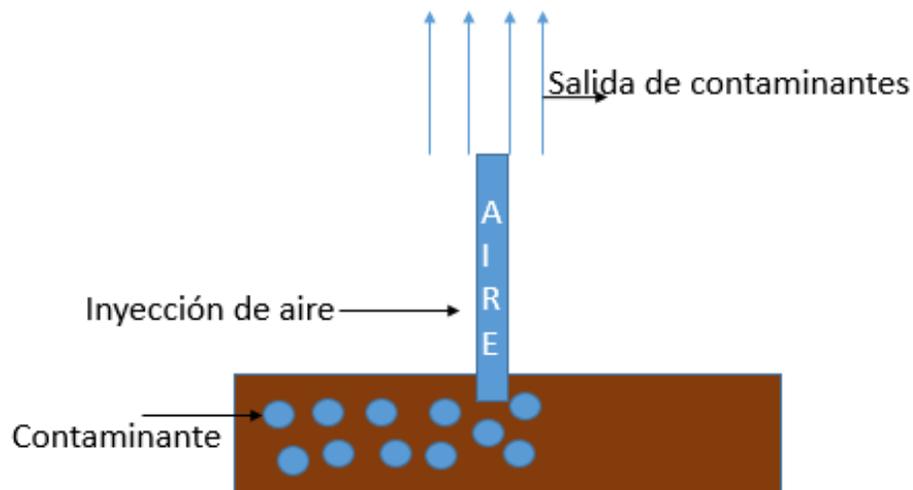


Imagen 3. Extracción

3.1.1.2 Lavado: El lavado es una técnica *ex-situ* en la cual los contaminantes son adsorbidos por el suelo y se tratan por una solución acuosa que puede ser solo agua o agregar cierto tipo de aditivos para así optimizar el proceso y hacer que los contaminantes se solubilizan. Antes de realizar el lavado se hace una homogenización previa para efectuar la separación de las partículas gruesas, una vez finalizado el procedimiento el suelo se lava con agua para eliminar cualquier residuo de sustancia contaminante y se regresa a su origen. En este proceso los contaminantes que se tratan son compuestos orgánicos semivolátiles, hidrocarburos derivados del petróleo, metales pesados, y subsustancias inorgánicas, su eficiencia depende tanto de las características del contaminante como las del suelo.

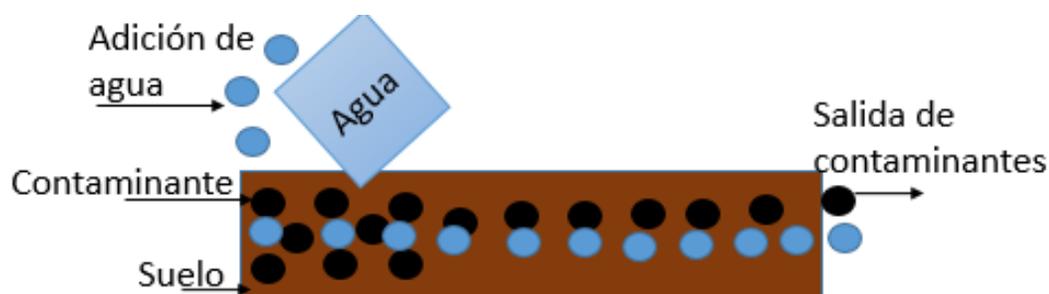


Imagen 4. Lavado

3.1.1.3 Flushing: Técnica de tipo *in-situ* que tiene como principal objetivo transportar los contaminantes a una determinada área, para luego efectuar un proceso de descontaminación mediante la inyección o infiltración de sustancias acuosas que permiten la extracción de elementos contaminantes. Se implementa generalmente para cualquier tipo de contaminante especialmente compuestos inorgánicos, no se recomienda su uso en suelos con baja permeabilidad con alto contenido de elementos finos.

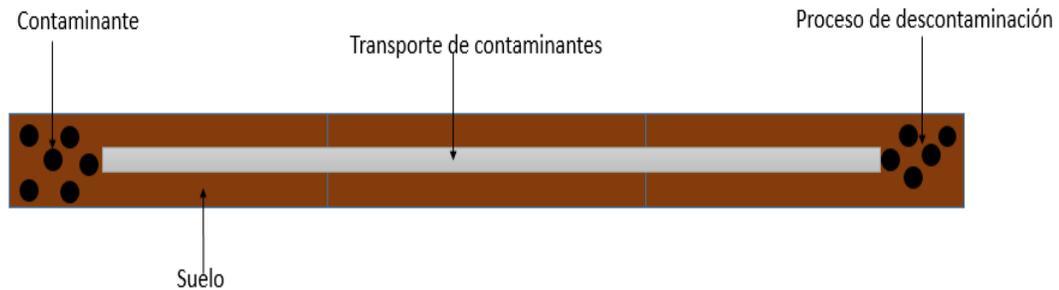


Imagen. 5 Flushing

3.1.1.4 Electrocinética: Es un proceso *in-situ* y consiste en inyectar una corriente eléctrica de menor intensidad en el suelo contaminado que facilita el movimiento de iones, agua y partículas pequeñas.

Durante la aplicación del proceso los contaminantes pueden ser transportados por medio de electromigración, electroósmosis, electrolisis, y electroforesis. Es ideal para tratar metales solubles o complejos en forma de óxidos, hidróxidos, y carbonatos.

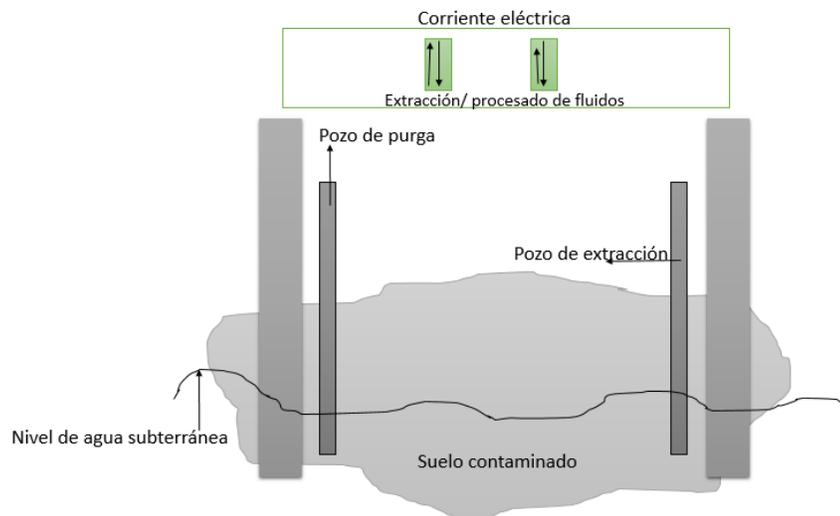


Imagen. 6 Electrocinética

Fuente: [http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6\\_tecnicas\\_recuperacion\\_suelos\\_contaminados.pdf](http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf)

3.1.1.5 Adición de enmiendas: Proceso *in-situ*, el cual consiste en agregar a los horizontes del sustrato subsustancias tanto orgánicas como inorgánicas con el fin de transformar la composición y la biodisponibilidad de los contaminantes. Se ha evidenciado que al añadir materia orgánica a suelos tipo salinos puede acelerar el lavado de Na, reduce el porcentaje de sodio intercambiable e incrementa la infiltración del agua.

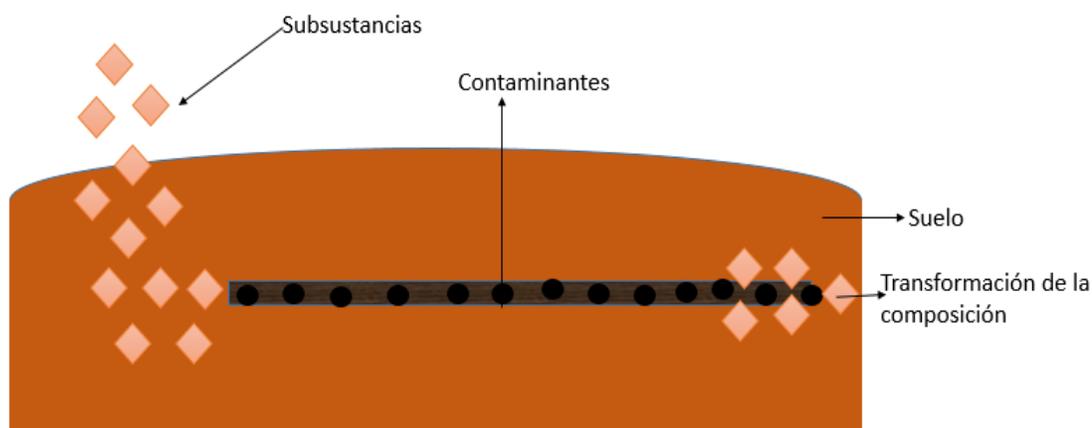


Imagen. 7 Adición de enmiendas

3.1.1.6 Barreras permeables activas: Técnica *in-situ* que se lleva a cabo por la construcción de barreras ubicadas en la superficie del terreno para que de esta forma pasen los contaminantes y así queden atrapados por materiales adsorbentes reduciendo su movilidad y toxicidad sean bajas. Esta técnica se

está llevando a cabo en “aplicación de barreras reactivas permeables para la eliminación de hidrocarburos en suelos contaminados” (Umbacia Soto 2017).

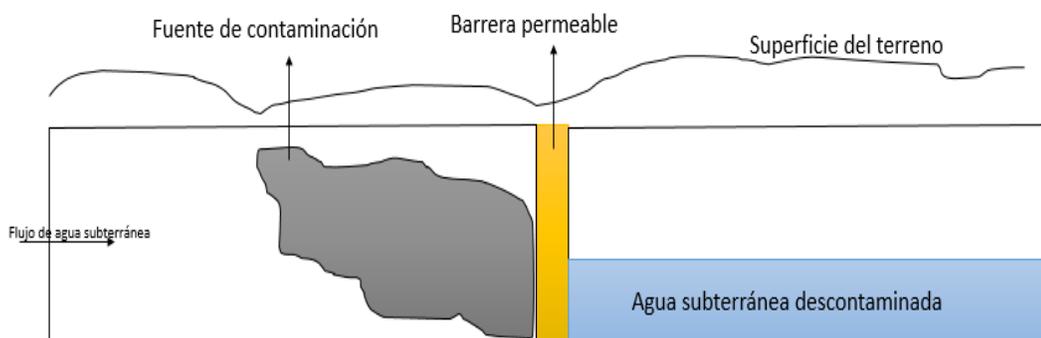


Imagen. 8 Barreras permeables activas

Fuente: [http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6\\_tecnicas\\_recuperacion\\_suelos\\_contaminados.pdf](http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf)

3.1.1.7 Inyección de aire comprimido: Es *In-situ*, se encarga de separar los contaminantes en forma de vapor y por medio de pozos volatiliza los contaminantes disueltos generando así movimiento en forma de vapor hacia una zona no saturada y de esta forma se degradan. Este aire contaminado debe ser depurado generalmente con filtros como el carbón activado, esta técnica está indicada para tratar suelos y aguas subterráneas contaminadas con solventes clorados, sustancias volátiles y semivolátiles de bajo peso molecular como xileno, benceno, tolueno, tetracloruro de carbono, tricloroetano, cloruro de metilo, etc.

3.1.1.8 Pozos de recirculación: Es similar al proceso anteriormente descrito pero este tiene la gran diferencia de que el proceso se lleva a cabo en las zonas de saturación, consiste en la creación de células de circulación de agua subterránea en el pozo, luego el aire inyectado a presión produce la ascensión del agua y una reducción de su densidad, contribuyendo a la volatilización de los compuestos orgánicos,

que posteriormente son captados por un filtro en la parte superior del pozo, donde el agua vuelve a circular hacia abajo, volviendo a ser captada en la parte inferior del pozo y repitiendo de nuevo el ciclo.

3.1.1.9 Oxidación ultravioleta: Es una técnica de destrucción a través de la oxidación de contaminantes mediante la adición de compuestos y en presencia de luz ultravioleta. Este proceso se desarrolla en un reactor donde la oxidación de las sustancias contaminantes se da por contacto directo con los oxidantes mediante fotólisis ultravioleta y acción sinérgica entre luz y ozono. Los contaminantes que tienen una sensibilidad de cambio frente a esta técnica son: los hidrocarburos del petróleo, hidrocarburos clorados, compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, alcoholes, cetonas, aldehídos, fenoles, éteres, pesticidas, dioxinas, PCBs, TNT, RDX y HMX.

### **3.1.2. TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN BIOLÓGICA**

3.1.2.1 Biodegradación asistida: Esta técnica se da mediante el uso de diferentes microorganismos los cuales metabolizan los contaminantes orgánicos que están presentes en el suelo, ya que los utilizan como fuente de energía para su crecimiento y de esta forma ocasiona una reducción en los mismos. Su aplicación es bastante usual en la descontaminación "la biodegradación está relacionada con el crecimiento de los microorganismos" (Arbeli 2009)

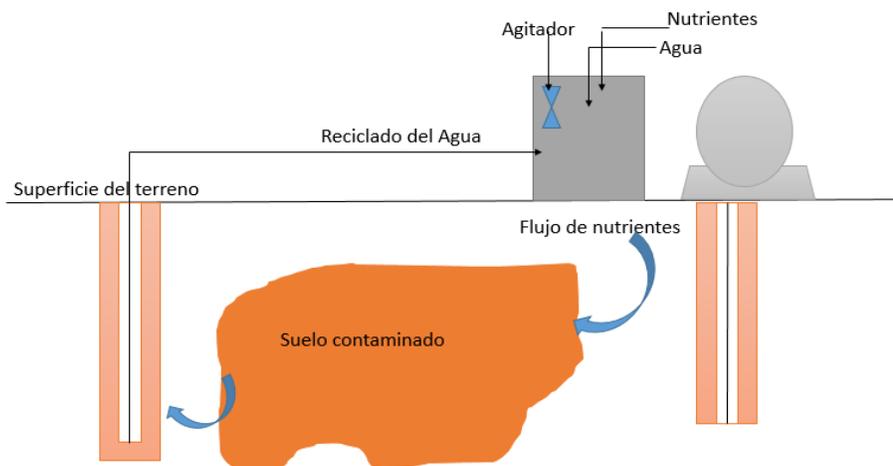


Imagen. 9 Biodegradación asistida

Fuente: [http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6\\_tecnicas\\_recuperacion\\_suelos\\_contaminados.pdf](http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf)

3.1.2.2. Biotransformación de metales: Por el uso de microorganismos se controla la movilidad de los metales en el suelo ya que no pueden degradar ni destruir los metales, pero si tener un control a lo que se refiere a su especiación y transformación a estados menos tóxicos por acción de la oxidación, reducción, formación de complejos, y acumulación intracelular.

3.1.2.3 Fitorrecuperación: Se refiere al uso de plantas las cuales son capaces de adaptarse y desarrollarse en lugares netamente contaminados, para de esta forma inmovilizar, acumular, extraer, o transformar cierto tipo de contaminantes, “estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo.” (Universidad Autónoma de Yucatán. et al. 2011)

3.1.2.4. Bioventing: Considerada como una técnica *in-situ* de recuperación biológica usada en suelos profundos que se encarga de inyectar nutrientes y oxígeno para estimular la actividad biodegradadora de

microorganismos, esta técnica se puede llevar a cabo mediante tres formas filtración biológica, carbón activado o combustión.

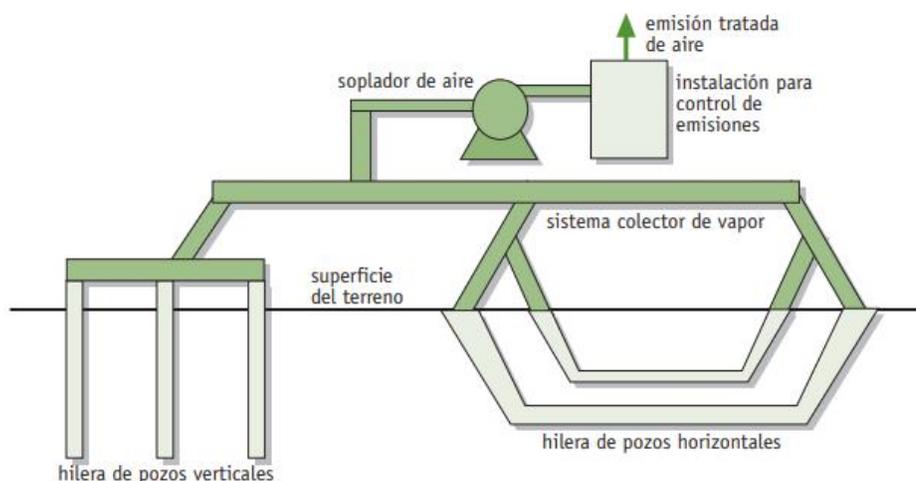


Imagen. 10 Bioventing

Fuente:[http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6\\_tecnicas\\_recuperacion\\_suelos\\_contaminados.pdf](http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf)

3.1.2.5. Landfarming: Para implementar esta técnica se excava y se tiende una capa delgada de no más de 1,5 m sobre la superficie en donde se está llevando a cabo la descontaminación, mediante la aireación y adición de nutrientes se aumenta la actividad microbiana. El landfarming se emplea eficazmente en el tratamiento de fangos de refinería que poseen hidrocarburos de petróleo.

3.1.2.6 Bio-pilas: Este proceso se puede aplicar tanto *in-situ* como *ex-situ* siendo esta la forma más común. Se da mediante la transformación de contaminantes biodegradables en productos inocuos, debido a la acción de determinados microorganismos que están presentes en el suelo, para que se lleve a cabo tal proceso se deben tener en cuenta ciertas características en el suelo como la estructura, pH, contenido de nutrientes, humedad, temperatura, y poblaciones bacterianas, las cuales determinan la

eficiencia de la técnica. “Se dispone en pilas con una altura de hasta 4 metros (es habitual no superar 2-3 metros) sobre un sustrato impermeabilizado y dotado de un sistema de captación y evacuación de lixiviados” (Melo, 2014) Eficiencia de remoción: de hasta un 80% en cinco meses.

3.1.2.7 Compostaje: Considerada como una de las técnicas más conocidas para recuperación de suelos puede implementarse tanto en condiciones aerobias como anaerobias. Se basa en convertir una sustancia toxica en no toxica, orgánica toxica en no toxica aprovechando de los cambios en la materia orgánica que se llevan a cabo durante los procesos de producción de compost. Para ello se realiza una excavación en la zona afectada para mezclar los residuos de tipo animal y vegetal que proporcionan una porosidad y equilibrio adecuado entre el carbono y nitrógeno.

3.1.2.8 Lodos biológicos: Tratamiento relacionado directamente con la biodegradación, para ello se tiene que realizar una excavación y mezclado con agua y otros aditivos en un birreactor controlando ciertos parámetros como temperatura, pH, disponibilidad de sustratos, nutrientes, oxígeno, y humedad. De esta forma el proceso de mezcla contribuye a la homogeneidad del material contaminado para evitar la concentración elevada de los contaminantes.

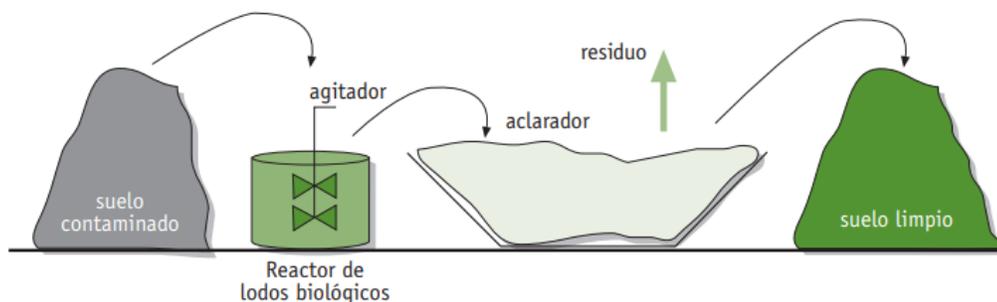


Imagen 11. Sistema de recuperación mediante lodos biológicos.

Fuente: [http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6\\_tecnicas\\_recuperacion\\_suelos\\_contaminados.pdf](http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf)

### 3.1.3 TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO

3.1.3.1 Incineración: Considerado con un tratamiento *ex-situ*, en el cual los contaminantes son eliminados a causa de las altas temperaturas. El proceso inicia cuando el suelo es sometido a elevadas temperaturas aproximadamente unos 1000°C con el objetivo de que el contaminante sea volatilizado y oxidado, en este proceso se obtiene gases, cenizas residuales, orgánicos e inorgánicos que deben de ser eliminados. Los hornos implementados en el proceso requieren de aire a alta velocidad, infrarrojos, y sistemas rotativos, es ideal para hacer recuperación a suelo que han sido afectados por hidrocarburos clorados, y dioxinas.

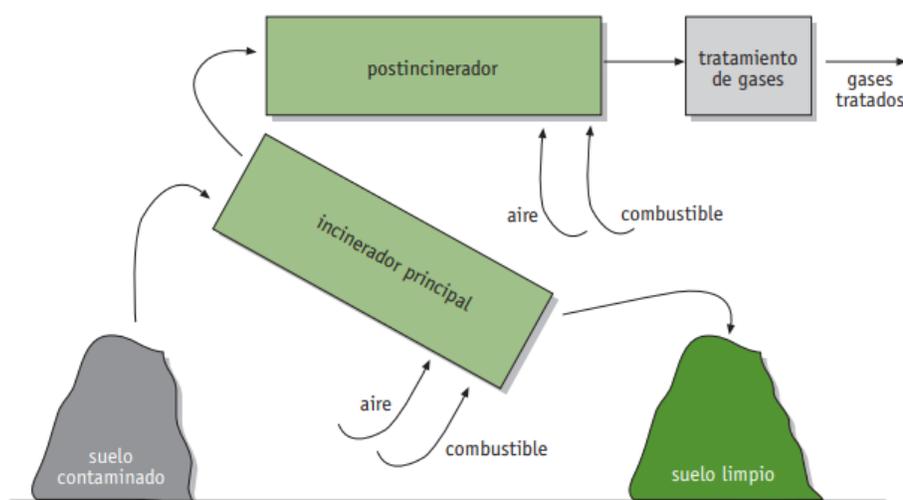


Imagen 12.Incineracion.

Fuente:[http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6\\_tecnicas\\_recuperacion\\_suelos\\_contaminados.pdf](http://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf)

3.1.3.2 Desorción térmica: Hace parte de los tratamientos térmicos y se elabora de forma *ex-situ* el proceso se lleva acabo sometiendo el suelo afectado a temperaturas bajas, buscando que las sustancias no se oxiden pero si se volatilicen. Este proceso tiene como fin retener las propiedades físicas del suelo junto con los componentes orgánicos, lo que permite la capacidad de soportar una futura actividad biológica. Implementando este proceso podemos eliminar o disminuir la carga contaminante de hidrocarburos aromáticos, pesticidas, y metales pesados.

### 3.1.4. TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN DE TRATAMIENTO MIXTO

3.1.4.1 Extracción multifase: El procedimiento se desarrolla tipo *in-situ*, y se ejecuta por medio de la extracción del contaminante presente en el suelo, en distintos estados como vaporización, fase liquida, y compuestos no acuosos. La extracción del contaminante se realiza por un vacío intenso a través de una conducción cuyo extremo ingresa en el pozo, la fase tanto liquida como gaseosa extraídas son separadas por acción de la condensación. Este procedimiento se realiza para la eliminación de contaminantes orgánicos como hidrocarburos volátiles y semivolátiles.

3.1.4.2 Atenuación natural: Metodología *in-situ*, se basa en implementar procesos naturales para contener la propagación de la contaminación originaria de vertimientos y de esta forma disminuir determinadas concentraciones y cantidad de elementos tóxicos en áreas contaminadas, se lleva a cabo por microorganismos presentes del medio y se implementa en cuatro procesos como lo es la

biodegradación, adsorción, dilución y evaporación. Su aplicabilidad se da en sustancias como compuestos BTEX, hidrocarburos clorados pesticidas y compuestos inorgánicos.

### 3.1.5. TÉCNICAS DE DESCONTAMINACIÓN DE CONTENCIÓN Y CONFINAMIENTO

3.1.5.1 Barreras verticales: Son *in-situ* y se usan para impedir el movimiento de sustancias contaminantes y prevenir que lleguen a las aguas subterráneas, realizadas en cemento, o pilotes de acero, esta metodología se desarrolla principalmente en suelos de textura gruesa.

3.1.5.2 Barreras horizontales: Es proceso *in-situ*, se requieren zanjas horizontales que sellan con materiales impermeables con el fin de evitar la filtración y movimiento del compuesto contaminante, es destacado por implementarse en derrames metálicos.

3.1.5.3 Barreras de suelo seco: Es la desecación del sustrato con el fin de aumentar la capacidad de absorción de sustancias contaminantes y de esta forma se interrumpe la movilidad, consta de un entramado de pozos verticales y horizontales por los que fluye el aire seco hasta el área afectada.

3.1.5.4 Estabilización físico-química: Técnica *ex-situ*, se lleva a cabo en contaminantes como los metales pesados el cual mediante procesos químicos se reduce la solubilidad del mismo haciendo que se disminuya la movilidad.

3.1.5.5 Inyección de solidificantes: Se realiza *in-situ*, y consta en la inyección de agentes estabilizantes, para de esta forma atrapar los contaminantes mediante una matriz impermeable.

3.1.5.6.4. Vitrificación: Es usada para el manejo de metales pesados, cianuros y microorganismos patógenos del sustrato. Esta técnica se basa en el proceso de estabilización térmica, por adición de calor por electrodos logrando estabilizar el contaminante.

Una de las técnicas para la descontaminación del suelo es la denominada barreras del suelo seco desarrollada en ambientes subsuperficiales, “tiene como principal objetivo la desecación del suelo para aumentar la capacidad de retención de sustancias contaminantes líquidas, impidiendo así su paso hacia los reservorios de agua subterránea”(Silva et al., 2015.). Otra técnica usada es la estabilización físico-química, la cual se aplica para “reducir la movilidad de los contaminantes, fundamentalmente inorgánicos como los metales pesados, mediante reacciones químicas que reducen su solubilidad en el suelo y su lixiviado”(Silva et al. 2013 .). Existen muchas más técnicas que se usan y otras que están en fase experimental, lo importante como dicho anteriormente es tener conocimiento acerca de la zona afectada para así llevar a cabo dicho proceso de descontaminación. Cabe destacar que, aunque la agrupación de esas técnicas según los procesos químicos, térmicos y biológicos ayuda a comprender los mecanismos detrás de la descontaminación, en la mayoría de los casos las intervenciones en casos reales prevén la combinación de distintas técnicas que cuentan con procesos sinérgicos.

El uso de distintas técnicas simultáneamente como la adición de efectos de biochar (un material residual altamente poroso y rico en carbono originado por la pirolización anaeróbica de residuos orgánicos con el fin de producir biogás) y compost puede limitar la movilidad de ciertos metales pesados en un suelo de huerto urbano moderadamente contaminado por metales pesados. En la cual toman el compostaje y el biochar para la remoción de ciertos metales pesados y hacer que la productividad del suelo aumente. (López 2018)

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TECNICAS IN-SITU Y EX-SITU

	IN-SITU	EX-SITU
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar</li> <li>-Potencial disminución en costos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Menor tiempo de tratamiento</li> <li>-Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogenizar y muestrear periódicamente</li> </ul>
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mayores tiempos de tratamiento</li> <li>-Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo.</li> <li>- Dificultad para verificar la eficacia del proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Necesidad de excavar el suelo</li> <li>-Aumento de costos e ingeniería para equipos</li> <li>-Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante.</li> </ul>

Tabla 6. Ventajas y desventajas de las técnicas in-situ y ex-situ

Fuente: Sepulveda, Tecnologías de remediación para suelos contaminados.

La importancia de llevar a cabo las técnicas de recuperación más adecuada y caso por caso radica en la calidad del suelo pues de esta manera evitaríamos la contaminación a gran, mediana, y pequeña escala de diferentes recursos naturales. Así mismo se detecta, reduce, transporta y se cambia la forma química de un determinado contaminante con el fin de contribuir a la conservación del medio ambiente al mismo tiempo en el que se está explotando, es decir encontramos el equilibrio entre el consumo y la sostenibilidad. En cierto tipo de empresas

---

que se encargan de generar cierto tipo de sustancias contaminantes se implementan dentro de sus procesos de producción la llamada producción más limpia, la cual consiste en implementar dentro de la organización ciertas prácticas que miren a disminuir el impacto medio ambiental o que sean compensativas con el medio ambiente con el fin de disminuir los niveles de contaminación sin disminuir la calidad y productividad de la empresa. Es una buena opción en el momento de formular alguna solución con respecto a la problemática de metales pesados.

## **CAPITULO IV**

### **4.1 CASOS DE ESTUDIO**

A pesar de que se cuenta con herramientas novedosas para evitar la contaminación en el suelo hay que tener en cuenta que estos procesos a pesar de ser eficaces raramente remueven la totalidad de la contaminación, quedando la posibilidad de que esa contaminación residual siga procesos de bioacumulación en organismos superiores mediante su paso a la cadena trófica. Por ello diferentes industrias contaminantes deben de tener presente los riesgos que se generan si hay presencia en concentraciones tanto altas como bajas, no es un secreto que la presencia de este tipo de contaminantes se ve en aumento por la creciente actividad económica y la presión a aumentar las ganancias pese a la sostenibilidad ambiental. A continuación se describe ciertos casos en los cuales se evidencia la presencia de metales pesados en el ecosistema suelo, casos en aumento en diferentes localidades, municipios y países.

Uno de los casos más alarmantes por la pérdida de calidad ambiental es en Norilsk- Rusia ya que es reconocido como uno de los lugares más contaminados, debido a que tiene el complejo de fundición de metales pesados más grande del mundo. “La ciudad ha sido acusada de ser uno de los lugares más contaminados de Rusia donde la nieve es negra, el aire huele a azufre y la expectativa de vida para los trabajadores es diez años menor que en el

resto del mundo”(Enigma 2018). Noticias como esta causan bastante asombro, pero este tipo de información parece no detenerse. En Cuba se analizaron suelos aledaños a la empresa electroquímica de Sagua para determinar la contaminación por metales pesados, en este muestreo se identificó que los “niveles de mercurio en los suelos, analizados mediante espectrometría de absorción atómica con generación de vapor frío, sobrepasan los valores límites de referencia para suelos cubanos, lo que constituye una evidencia clara de contaminación” (Yaillet and Carvajal 2017). Así mismo ocurre en Colombia, pues se detecta cadmio y plomo en suelos en el Magdalena medio, generado por las actividades económicas de las cuales la industria petroquímica responsable de “arrojar al ambiente metales tóxicos como plomo y cadmio, que contaminan los suelos y agroecosistemas.”(Su et al., 2015).

Las afectaciones a causa de metales pesados por acción de la volatilización también son notorias en la ciudad de Bogotá-Colombia, se llevaron a cabo cierto tipo de análisis para determinar una evaluación climática referente a la concentración de contaminantes como plomo y cobre relacionados en sedimentos arrojados en la superficie vial de las zonas Puente Aranda, y Kennedy “Se ha reportado que la deposición atmosférica total (seca y húmeda) contribuyó con más de la mitad del Pb, Zn, Ni, Cu, As, Cd, Cr, Hg, Sb y V detectado en la escorrentía de las superficies impermeables de áreas urbanas”(Zafraría-, 2015) . A causa de problemas como estos la ciudad de Bogotá fue catalogada por la organización panamericana de la salud como el tercer centro urbano de mayor contaminación atmosférica en América latina.

También hay presencia de contaminación en zonas costeras sitio en el cual muchas personas lo tienen programado como destino vacacional así lo reveló un proceso de investigación realizado en Chile en la bahía San Jorge en donde se realizó una comparación entre sedimentos de una playa natural y artificial “La concentración

más alta de los cinco metales analizados en playa Paraíso correspondió al Pb, con valor máximo de  $1080 \mu\text{g g}^{-1}$ , mientras que la concentración más baja se observó en el Ni con máximo de  $81 \mu\text{g g}^{-1}$ .”(Castro and Valdés 2012).

Se evidencia en varios estudios como ciertas prácticas contribuyen a la aparición de contaminantes como en el caso de México en el estado de Tula, debido a que se utilizan las aguas residuales para riego en agricultura, una práctica que se realiza hace aproximadamente 80 años, y trae consecuencias negativas “los metales pesados ocupan un papel importante, ya que tienden a acumularse en los suelos a largo plazo y su remoción de los mismos es prácticamente imposible.” (Rueda Saa, Alexandra Rodríguez Victoria, and Madriñán Molina 2011)

El uso de biosólidos que se generan en las plantas de tratamiento de aguas residuales son utilizados con el fin de enmendar suelos agrícolas, prácticas que en ciertas condiciones son favorables. Para ello se debe realizar un análisis previo para así tener conocimiento de las condiciones en las cuales se encuentra el lodo, de lo contrario se puede generar impactos negativos “Los metales pesados pueden ingresar a las redes tróficas por los mecanismos mencionados y ocasionar en primera instancia bioacumulación y una posterior biomagnificación a través de los niveles tróficos superiores.”(Tornero et al 2009)

Además de la contaminación antropogénica, algunos suelos pueden presentar valores de metales pesados muy elevados, por ejemplo “Los suelos sobre rocas ultramáficas y máficas muestran contenidos de Cr, Ni y Cu que superan en muchas ocasiones los umbrales considerados de fitotoxicidad por diferentes autores” (Macías and Veiga Vila 2013), situación preocupante en la provincia de la Coruña-España pero con la implementación de distintas metodologías para la reducción de la contaminación, y la limitación de la movilidad de los contaminantes, se puede limitar una afectación directa a la comunidad.

A parte de las implicaciones hacia los recursos naturales, los metales pesados también desarrollan consecuencias en la salud humana, que pueden llegar a no estar tan claras, dado que no se tiene un conocimiento sólido de que

---

efectos negativos ocasiona es decir cómo afecta y que tipo de contaminante es el que ocasiona dicha perturbación. A continuación se describen ciertos casos los cuales deja un conocimiento más sólido acerca del tema.

Se determina por una investigación realizada en Pamplona- España, los órganos que son considerados como órgano blanco frente a los metales pesados, es decir aquellos que tiene una gran sensibilidad frente al contacto ya sea ocasional o de forma permanente “Los principales sistemas afectados son el gastrointestinal, neurológico central y periférico, hemático y renal. Algunos de los compuestos metálicos son carcinógenos.”(Navarre (Spain). Departamento de Salud. 2013)

Uno de los recursos naturales más alterados por los metales pesados es el suelo ya que se considera como el receptor de cualquier tipo de sustancias que se incorpora en ellos mediante ciclos bioquímicos y de esta forma se modifican sus características. Así mismo se genera una perdida en la productividad del suelo provocando reducción en cosechas “La contaminación ambiental por metales pesados (MP) en suelos es una preocupación para la producción agrícola debido a los efectos adversos que provoca en la calidad de los cultivos.” ( Reyes, 2014)

Ciertos alimentos que hacen parte de la canasta familiar básica se han estudiado con el fin de detectar presencia o ausencia de algunos metales pesados para de esta manera evitar bioacumulacion, es decir se tiene conocimiento que pueden estar contaminados con una mínima concentración pero cuando este cuando excede los límites permisibles se debe de hacer un control en la fuente, “Se dio a conocer un estudio del instituto nacional de salud pública (INSP) que alertaba sobre un nivel de plomo por arriba de los estándares de la administración de alimentos y medicamentos de los estados unidos (FDA)” (González 2017).

---

La biocumulación de contaminantes en el sustrato y en cultivos se ha convertido en temas comunes en la actualidad ya que existe una cercanía entre la actividad que desata la contaminación y el terreno destinado para fines agrícolas “Se concluye que los mayores niveles de bioacumulación de metales en tejidos vegetales presentó el siguiente orden: raíz > tallo > hojas, a su vez la acumulación en suelo mostró ser mayor en la profundidad de 5 cm.”( Peláez et al, 2016)

No es un tema oculto que ciertas actividades económicas generan mayor contaminación que otras una de las más nocivas es la minería la cual mediante la extracción de oro por ejemplo causa múltiples afectaciones en el entorno y a su vez en su aplicación se desatan una serie de contaminantes que resultan de gran toxicidad . “La intensa extracción de minerales en áreas mineras ha producido una gran cantidad de material de desecho y relaves, que liberan elementos tóxicos al medio ambiente.”(Demková, et al, 2017).

El mercurio es uno de los elementos que se requieren para llevar a cabo esta actividad, en donde puede llegar a generar emisiones o mediante escorrentía llegar a fuentes hídricas por los lixiviados, “Las bacterias en el medio ambiente transforman el mercurio inorgánico en metilmercurio, una forma más tóxica de mercurio que se conoce mejor como la forma que se acumula en los peces”(REDOIL 2015).

El accidente de la mina Aznalcollar ubicada en España es considerado como uno de los casos más relevantes de recuperación de suelos contaminados tanto a nivel nacional como internacional. Esto se debe tanto por los desastrosos impactos que se ocasiono a nivel tanto ambiental como social por un vertido minero acido rico en metales pesados y arsénico, para recuperar el ecosistema afectado se tomaron medidas de recuperación como la fitorremediación para disminuir los metales pesados que estaban presentes en el medio y para recuperar el pH del suelo. Pero lo que más llama la atención en este caso son las medidas que se llevaron a cabo ya que, “El área contaminada y remediada es un laboratorio natural donde se han llevado a cabo una gran cantidad de estudios, lo

que contribuye al avance de nuestra comprensión del destino de TE.” (Madejón et al. 2018). El éxito de este caso de recuperación de los suelos ha convertido la gran mayoría del área afectada por el vertido en un “corredor verde”, donde quedan prohibidas todas las actividades agropecuarias, pero la vegetación ha vuelto a crecer aportando una notable mejora en la zona, ahora destinada a turismo ecosostenible.



Fuente: <http://edafologia.ugr.es/donana/aznal.htm>

Uno de los residuos domésticos más comunes son las pilas o baterías provenientes de celulares o aparatos electrónicos como juguetes, relojes, linternas, radios, controles, mouse, entre otros artículos que se encuentran en una vivienda, “Cada año, los consumidores desechan miles de millones de baterías, todas con materiales tóxicos o corrosivos.” (Merry, 2018) cuando ha finalizado su vida útil y se tiene una mala disposición final pueden contribuir al deterioro del medio ambiente ya que están pilas contienen metales pesados como mercurio, cadmio, zinc, entre otros,” Las LIB (baterías de ión litio) contienen un alto porcentaje de metales pesados peligrosos: de las 4,000 toneladas de LIB recolectadas en 2005, se generaron 1,100 toneladas de metales pesados y más de 200 toneladas de electrolitos tóxicos”(Murphy 2017).

---

## **DISEÑO METODOLÓGICO**

### **Descripción del tema o área de estudio**

El documento monográfico titulado “Recuperación de suelos degradados: casos de contaminación por metales pesados” se enfatiza en dar a conocer diferentes técnicas a implementar en casos de contaminación del suelo por actividades antropogénicas.

### **Métodos, técnicas y/o instrumentos de análisis**

Plataformas de bases científicas: Mediante plataformas como scielo, google académico, scopus, sciencedirect, biblioteca virtual de la universidad de Cundinamarca, y biblioteca virtual de la universidad nacional, se investiga de acuerdo a la temática desarrollada en el documento.

Mendeley: Aplicación encargada en la recolección de documentos y citación bibliográfica de los mismos.

## Metodología

<b>OBJETIVO</b>	<b>¿COMO SECUMPLIÓ?</b>
1. Conocer los efectos naturales y antropogénicos que ocasionan la contaminación del recurso suelo.	Para dar cumplimiento en este objetivo se analizaron los casos de estudio más importantes que han alterado las características del suelo ya sean por efectos naturales o antropogénicos.
2. Identificar las consecuencias medioambientales por la presencia de agentes xenobióticos (metales pesados) en el suelo.	Mediante la contextualización del suelo se identificó su composición y características principales para posteriormente definir las consecuencias ambientales.
3. Describir las novedosas y eficientes técnicas para la recuperación de suelos afectados por la presencia de metales pesados.	Mediante revisión bibliográfica se identifica las consecuencias de la contaminación y con ello la descripción e implementación adecuada de las técnicas de recuperación.

## RESULTADOS Y/O PRODUCTOS ESPERADOS

Actividad	Objetivo	Mes en el cual se cumplirá
Búsqueda en fuentes científicas	1	1-2
Lectura de documentos	2- 4	3
Redacción	3	4

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Mes							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Búsqueda de información								
Lectura								
Redacción								
Asesoría tutor								

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Agronegocios. 2019. “Degradación de Pastizales Por Cambio Climático Genera Millonarias Pérdidas a Comunidades.” : 1. <https://www.agronegocios.co/clima/degradacion-de-pastizales-por-cambio-climatico-genera-millonarias-perdidas-a-comunidades-2839754> (March 30, 2019).

Aguilera, Luis Hidalgo. *LA BASURA ELECTRÓNICA Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*.

---

Alkemi. “Estudios de Suelos Contaminados - Alkemi.” <https://alkemi.es/blog/estudios-de-suelos-contaminados/> (May 18, 2019).

Arbeli, Ziv. 2009. 14 Acta biol. Colomb *BIODEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP): I. EL CASO DE LOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCB) Biodegradation Of Persistent Organic Pollutants (POPs): I The Case Of Polychlorinated Biphenyls (PCB).*

Berenice Gonzalez Durand. 2017. “De Metales Pesados Y Otros Demonios.” <https://www.eluniversal.com.mx/ciencia-y-salud/salud/de-metales-pesados-y-otros-demonios> (May 22, 2019).

Bogotá DC. 2006. *FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA PREGRADO EN INGENIERIA AMBIENTAL.*

Castro, Gabriel, and Jorge Valdés. 2012. “Concentración de Metales Pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) En La Biota Y Sedimentos de Una Playa Artificial, En La Bahía San Jorge 23°S, Norte de Chile.” *Lat. Am. J. Aquat. Res* 40(2): 267–81.

Chowdhury, Rajiv et al. 2018. “Environmental Toxic Metal Contaminants and Risk of Cardiovascular Disease: Systematic Review and Meta-Analysis.” *BMJ* 362: 3310.

Ciudad De Manizales Mauricio Velasco Garcia, En LA. 2005. *LA CALIDAD DEL AIRE ASOCIADO CON METALES PESADOS UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA MANIZALES.*

“Contaminación Del Agua Por Metales.” 2007. *Agua.Org.Mx*.

<https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-metales/> (May 19, 2019).

“Contaminación Del Suelo: Causas, Consecuencias Y Soluciones • Canal Clima.”

<http://www.canalclima.com/contaminacion-del-suelo-causas-consecuencias-y-soluciones/> (March 28, 2019).

Covarrubias, Sergio Abraham, and Juan José Peña Cabriales. 2017. “CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS EN MÉXICO: PROBLEMÁTICA Y ESTRATEGIAS DE FITORREMEDIACIÓN.” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33(0): 7–21.

De, División, and Estudios De Postgrado. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA*.

Demková, Lenka, Tomáš Jezný, and Lenka Bobuřská. 2017. “Assessment of Soil Heavy Metal Pollution in a Former Mining Area-Before and After the End of Mining Activities.” *Soil & Water Res* 12(3): 0–00.

Desconocido. 2014. *Capítulo VIII Estudio de La Movilización de Metales Pesados*.

Enigma. 2018. “Los Lugares Más Contaminados Del Mundo - Engimía.” : 1.

<https://engimia.com/blog/los-lugares-mas-contaminados-del-mundo> (March 31, 2019).

Envirosoil. 2018. “Consecuencias de La Contaminación Del Suelo: Grave Peligro

Ambiental | Envirosoil.” <https://www.envirosoil.es/gravedad-de-las-consecuencias-de-la-contaminacion-del-suelo/> (May 20, 2019).

FAO. “Nociones Ambientales Básicas Para Profesores Rurales Y Extensionistas.” : 1.

<http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm> (March 8, 2019a).

———. “Nociones Ambientales Básicas Para Profesores Rurales Y Extensionistas.”

<http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm> (March 12, 2019b).

FIGUEROA VILCA CASTRO, YOMELLY BERTHA GORDILLO VILCA. 2016.

*UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE  
CIENCIAS NATURALES Y FORMALES ESCUELA PROFESIONAL DE QUÍMICA  
Tesis Presentada Por: Para Optar El Título Profesional de Licenciada En Química.*

Forestal, Colombia et al. “EVALUACIÓN DE TEXTURA DEL SUELO CON  
ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO EN UN OXISOL DE  
COLOMBIA Near-Infrared Spectroscopic Assessment of Soil Texture in an Oxisol of  
the Eastern Plains of Colombia.”

“Full-Text.”

Gobierno de España. 2015. “Aecosan - Agencia Española de Consumo, Seguridad  
Alimentaria Y Nutrición.” : 1.

[http://www.aecosan.msssi.gob.es/eu/AECOSAN/web/seguridad\\_alimentaria/subdetalle/metales\\_pesados.htm](http://www.aecosan.msssi.gob.es/eu/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/metales_pesados.htm) (March 31, 2019).

Gobierno de la Rioja. 2016. “Salud Y Metales Pesados - Medio Ambiente - Portal Del  
Gobierno de La Rioja.” : 1. <https://www.larioja.org/medio-ambiente/es/atmosfera/calidad-aire/red-biomonotizacion/salud-metales-pesados>

---

(February 19, 2019).

HUMBOLDT. 2017. “Biodiversidad Colombiana: Números Para Tener En Cuenta.” : 1.  
<https://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1087-biodiversidad-colombiana-numero-tener-en-cuenta> (March 31, 2019).

IDEAM. 2014. “MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS - IDEAM.” : 1. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/monitoreo-seguimiento-estado-calidad-suelos> (March 31, 2019).

La información. 2017. “UN TERCIO DEL SUELO DEL PLANETA ESTÁ DEGRADADO, SEGÚN LA FAO - España - Diario La Informacion.” : 1.  
[https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/un-tercio-del-suelo-del-planeta-esta-degradado-segun-la-fao\\_QPVbjtyXO8SYEBEFT1om11/](https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/un-tercio-del-suelo-del-planeta-esta-degradado-segun-la-fao_QPVbjtyXO8SYEBEFT1om11/) (March 5, 2019).

Ing. Reinaldo Reyes. 2014. *La Contaminación Ambiental Por Metales Pesados (MP) En Suelos Es Una Preocupación Para La Producción Agrícola Debido a Los Efectos Adversos Que Provoca En La Calidad de Los Cultivos.*

José Peláez-Peláez, Manuel, John Jairo, Bustamante Cano, and Eyder Daniel Gómez López. 2016. “PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS.”

Juan Jose Ibañez. 2008. “Degradación Del Suelo Y Pérdida de Recursos Edáficos: Una Introducción | Un Universo Invisible Bajo Nuestros Pies.” : 1.  
<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/09/17/101114> (February 27, 2019).

---

Ladachart, Rottana, Chakapan Sutthirat, Kenichiro Hisada, and Punya Charusiri. 2012.

“Soil Erosion and Heavy Metal Contamination in the Middle Part of the Songkhla Lake Coastal Area, Southern Thailand.” In *Coastal Environments: Focus on Asian Regions*, Dordrecht: Springer Netherlands, 106–29.

Lopez, Daphne. 2018. “VIII Congreso Ibérico de Las Ciencias Del Suelo VIII Congresso Ibérico de Ciências Do Solo DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN.” (June).

Macias, F ;, and A ; Veiga Vila. 2013. 18 *Influencia Del Material Geológico Y Detección de Anomalías En El Contenido de Metales Pesados En Horizontes Superficiales de Suelos de La Provincia de A Coruña.*

Madejón, Paula et al. 2018. “Soil-Plant Relationships and Contamination by Trace Elements: A Review of Twenty Years of Experimentation and Monitoring after the Aznalcóllar (SW Spain) Mine Accident.” *Science of the Total Environment* 625: 50–63.

Maykel, Ing et al. 24 *Determinación de La Geometría Del Perfil Del Suelo Mediante El Método de Tratamiento de Imágenes Determination of Soil Profile Geometry through the Image Processing Method.*

Melo, Sergio Hurtado. *Memoria. Principales Métodos de Descontaminación de Suelos.*

Michael Merry. 2018. “Environmental Problems That Batteries Cause | Sciencing.”  
<https://sciencing.com/environmental-problems-batteries-cause-7584347.html> (May 23, 2019).

---

Ministerio de educación de España. “Proyecto Biosfera.”

[http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/3ESO/Agentes\\_1/contenidos4.htm](http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/3ESO/Agentes_1/contenidos4.htm) (March 12, 2019).

Molina, Lizeth D, and Liliana P Lozano. 2017. 10 Publicaciones e Investigación

*Publicaciones E Investigación Revista Especializada En Ingeniería : Journal Specializing in Engineering*. UNAD, Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Mulyani, Melza. *GENETIC VARIATION IN CITRUS CULTIVAR SIAM (CITRUS NOBILIS LOUR. VAR MICROCARPA HASSK) FROM GUNUANG OMEH PRODUCTION CENTRE, WEST SUMATERA, INDONESIA*.

Murphy, Lauren. 2017. *THE ELECTRIFYING PROBLEM OF USED LITHIUM ION BATTERIES: RECOMMENDATIONS FOR LITHIUM ION BATTERY RECYCLING AND DISPOSAL*.

Navarre (Spain). Departamento de Salud., A. 2013. 26 Anales del Sistema Sanitario de Navarra *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*. Gobierno de Navarra, Departamento de Salud.

REDOIL. 2015. *Mining and Toxic Metals*.

Reyes, Yulieth et al. 2016. “CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS : IMPLICACIONES EN SALUD , AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA Heavy Metals Contamination : Implications for Health and Food Safety.” *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo* 16: 66–77.

---

Rubio, J. 2015. "Degradacion De Suelos." *Portal de suelos de la FAO* 28: 5.

Rueda Saa, Germán, Jenny Alexandra Rodríguez Victoria, and Raúl Madriñán Molina.

2011. *Metodologías Para Establecer Valores de Referencia de Metales Pesados En Suelos Agrícolas: Perspectivas Para Colombia Methods for Establishing Baseline Values for Heavy Metals in Agricultural Soils: Prospects for Colombia.*

Siac. 2017. "Suelo - IDEAM." <http://www.siac.gov.co/suelo> (February 13, 2019).

Silva, Lora, R ; Bonilla Gutierrez, H : Remediación, and Suelo Contaminado. *Artículo Científico.*

Su, Y et al. "PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS."

*Sustancia Para Unirse a Las Partículas Del Suelo Como Resultado de Las Reacciones Que Tienen Lugar Entre Ella Y Las Partículas Sólidas Del Mismo.* 2013.

*TEMA 6: LA EDAFOSFERA. 1. EL SUELO COMO INTERFASE: COMPOSICIÓN, TEXTURA Y ESTRUCTURA. 1.1 Concepto de Suelo, Edafología Y Edafosfera.*

Umbacia Soto, Merly Solanyi. 2017. "APLICACIÓN DE BARRERAS REACTIVAS PERMEABLES PARA LA ELIMINACIÓN DE HIDROCARBUROS EN SUELOS CONTAMINADOS."

UNAL. 2017. "Erosion Del Suelo."

Universidad Autónoma de Yucatán., Angélica Evelin et al. 2011. 14 Tropical and subtropical agroecosystems *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* Universidad

---

Autónoma de Yucatán.

Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Eduardo, Mario Alberto TORNERO CAMPANTE, Yolanda ÁNGELES CRUZ, and Noemí BONILLA Y FERNÁNDEZ. 2009. 25 Revista internacional de contaminación ambiental *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Valladares Ros, Fernando., J. L. Moreno, María Teresa Hernández Fernández, and Alfredo Polo. 2002. “Ciencia Y Medio Ambiente.”

Villanueva Rodríguez, Tomás. 2012. *Los Metales*.

WWF. 2016. “Soil Erosion and Degradation | Threats | WWF.”

<https://www.worldwildlife.org/threats/soil-erosion-and-degradation> (May 23, 2019).

Yaillet, Editora :, and Albernas Carvajal. 2017. 44 *ELECTROQUÍMICA DE SAGUA DETERMINATION OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN SOILS SURROUNDING THE ELECTROCHEMICAL ENTERPRISE OF SAGUA*. CUBA.

Zafra-Mejía, Carlos, Diana M Santamaría-Galindo, and Cristian D Torres-Galindo. 2015. “Análisis Climático de La Concentración de Metales Pesados Asociados Al Sedimento Depositado Sobre Vías Urbanas Climatic Analysis of Heavy Metal Concentration Associated with Urban Road-Deposited Sediment.” *Rev. salud pública* 17(3): 351–64.

Zoraya Martínez, María S. González, Jessica Paternina y Mónica Cantero. 2017.

*Contaminación de Suelos Agrícolas Por Metales Pesados, Zona Minera El Alacrán,*

---

*Córdoba-Colombia. Montería.*