



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“MECANISMOS NATURALES DE REMEDIACIÓN DE
SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS”

Trabajo de investigación para optar el grado académico de
Bachiller en INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Geraldine Chabelly Vilca Roldan (0000-0002-1002-5354)

Asesor:

Luis Americo Carrasco Venegas (0000-0002-7832-3366)

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°012-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 15 de enero de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Mecanismos naturales de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos** presentado por:

- **Vilca Roldan Geraldine Chabelly**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Mecanismos naturales de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos** con N° de registro de la carrera: **053-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Luis Carrasco Venegas** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,


Mg. **Gonzalo Francisco Flores Roca**
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental



MECANISMOS NATURALES DE REMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS

Geraldine Chabelly Vilca Roldan

gin.vr@outlook.es

RESUMEN

La contaminación de suelos por hidrocarburos ha sido una problemática que durante estos últimos años ha tomado relevancia, ya sea por sus impactos negativos al medio ambiente, sociedad y económicos. Realizar un plan de remediación de suelos por lo general resulta ser costoso, es por eso que la aplicación de técnicas o mecanismos de remediación de suelos ha cobrado importancia durante los últimos años, existen mecanismos físico-químicos y biológicos, también conocidos como naturales. Dentro de los mecanismos de remediación natural se agrupan en dos: de manera *in situ* (bioventing, bioestimulación, bioaumentación, fitorremediación y atenuación natural) y *ex situ* (biopilas, compost, lodos y landfarming). Como conclusión, se sabe que estas técnicas de remediación son ecoamigables con el ambiente ya que no representarían ningún daño para el suelo.

Palabras clave: contaminación, hidrocarburos, remediación,

ABSTRACT

The contamination of soils by hydrocarbons has been a problem that in recent years has become relevant, either because of its negative impacts on the environment, society and economics. To carry out a soil remediation plan usually proves to be costly, that is why that the application of soil remediation techniques or mechanisms has gained importance during recent years, there are physical-

chemical and biological mechanisms, also known as natural. Within the mechanisms of natural remediation are grouped into two: in situ (bioventing, biostimulation, bioaugmentation, phytoremediation and natural attenuation) and ex situ (biopiles, compost, sludge and landfarming). As a conclusion, it is known that these techniques of remediation are eco-friendly with the environment since they will not represent any damage to the soil.

Keywords: hydrocarbons, pollution, remediation

INTRODUCCIÓN

El Perú posee una gran diversidad natural de hidrocarburos en los que destaca el petróleo y gas natural, donde tenemos tres puntos importantes de desarrollo: la Zona Norte (Costa y zona continental de Talara – Región Piura), Selva Central (Cuenca de Ucayali) y cuenca de Camisea (Región Cusco). Si nos centralizamos en petróleo, se puede indicar que, hasta el 31 de diciembre de 2015, se registraron un total de 66 contratos (25 en fase de exploración y 41 en explotación) con una inversión que asciende a US\$ 44 mil millones (ProInversión, 2018).

El estado ejerce propiedad sobre sus recursos, sin embargo, brinda concesiones para su explotación (Del Valle, 2013); muchas de estas industrias de petróleo son productores de diferentes derivados, los cuales son elaborados y transportados en diferentes puntos del país, y en muchas ocasiones se ha visto que ocurren derrames, existen tres tipos más resaltante (Bustamante,2007): primero, producidos por algún accidente en la carretera o ferroviario; segundo, por fugas en los tanques de almacenamiento, líneas de conducción o pozos de perforación y por último, por sitios en donde se elaboran tomas clandestinas de

oleoductos. En donde, el suelo resulta como el mayor afectado por contaminación; ya que, cuando los compuestos del petróleo entran en contacto con el suelo producen un daño en sus propiedades físico-químicas (Buendía, 2013).

El hidrocarburo en el suelo cobra peligrosidad debido a la viscosidad del petróleo, su cantidad, el ambiente y la composición del suelo (Escalante, 2000). Asimismo, el inadecuado manejo de los materiales y residuos peligrosos que se generan al realizar estas actividades ha promovido a la contaminación en el suelo (por su extracción) y en el aire (compuestos fósiles generan gases desechos de los derivados del refinamiento de petróleo Gómez, 2009). Cabe mencionar que cuando el hidrocarburo entra en contacto con el suelo, imposibilita el intercambio gaseoso con la atmósfera (Benavides et al., 2005), lo cual propicia procesos físicoquímicos en paralelo; ejemplo, evaporación y penetración, esto puede variar de acuerdo al tipo de hidrocarburo, las condiciones físicas, como la temperatura, humedad (Gómez et al, 2008) textura del suelo, y también por el volumen de hidrocarburo vertido sobre el suelo.

El objetivo del estudio fue identificar la información bibliográfica disponible sobre los mecanismos naturales de remediación para suelos contaminados por hidrocarburos; por su importancia ambiental, ya que los suelos son la base de la agricultura; gracias a los productos que obtienen de la agricultura ellos pueden abastecer a sus familias, además de que no requieren de una fuerte inversión económica.

REVISIÓN TEÓRICA

1. Suelo

El suelo es aquel material que encuentra conformado por materia orgánica, aire, agua, partículas inorgánicas y organismos; desde la capa exterior terrestre hasta los diferentes niveles más profundos (MINAM,2014). Puesto que el suelo tiene la capacidad de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y almacenamiento de agua de lluvias para su existencia en medida de su necesidad (INIA, 2015). El suelo es un sistema en el que se pueden identificar tres fases (Jordán, 2005-2006): fase gaseosa: atmósfera contenida en el espacio poroso; fase líquida: agua de la solución del suelo; fase sólida: agregados minerales y orgánicos(Adams, 1995). La importancia del suelo es que se considera un componente del ecosistema forestal, por los mismo requiere de un manejo adecuado para poder satisfacer a las exigencias de los recursos (Pritchett, 1986).

2. Suelos contaminados por hidrocarburos

El suelo contaminado es aquel que ha sido expuesto a alteraciones químicas, biológicas o físicas, ante la presencia de algún componente peligroso en concentraciones que represente un riesgo para el medio ambiente o la salud humana (Ministerio de Medio Ambiente-España, 2007). Las consecuencias que generan, Martínez & López (2001) sugieren que “los hidrocarburos en el suelo varían por el volumen de este, características físicas, químicas y microbiológicas del suelo, así como también de los factores ambientales (humedad, temperatura, factores climatológicos)”(p.16). Esos componentes en conjunto definen el tamaño de la contaminación en el suelo, los efectos más perjudiciales que tenemos son (Cando,2011):la disminución de la cobertura vegetal, alteración en la población microbiana; posible contaminación de aguas subterráneas a través de los lixiviados(Silva & Correa,2009).

3. Remediación natural de suelos

Es el conjunto de operaciones o acciones que se ejecutan con la finalidad de controlar, reducir o eliminar contaminantes que se encuentran en el suelo (Coria, 2015). Para comprender más, MINAM (2014) define remediación como “tarea o conjunto de tareas a desarrollarse en un sitio contaminado con la finalidad de eliminar o reducir contaminantes, a fin de asegurar la protección de la salud humana y la integridad de los ecosistemas” (p.4).

3.1. Técnicas de remediación de suelos

3.1.1. Remediación *IN SITU*

Es aquella técnica en donde no hay la necesidad trasladar o excavar en el suelo contaminado a estudiar (Sepúlveda, 2005) es decir en el mismo lugar; por lo general suelen ser de menor costo (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018). Entre las técnicas usualmente usadas tenemos:

(a) Bioventing, el cual consiste en ventilar el suelo contaminado aplicando un suministro de oxígeno o aire a una zona insaturada, y nutrientes para facilitar el crecimiento de microorganismos aeróbicos (Hinchee, 2017; Brown et al., 1996). La ventilación no solo eliminará aquellos contaminantes del petróleo por medios físicos, sino que también va a mejorar la actividad microbiana (Liu, Li & Chen, 2017). El bioventing también ayuda a degradar compuestos orgánicos volátiles (VCOs) a medida que los vapores se vayan moviendo en el suelo; asimismo, la extracción del contaminante se realiza a través de una bomba al vacío. Estos VCOs se puede tratar de tres maneras: filtración biológica, carbón activo y combustión (EPA, 1995).

VENTAJAS

Favorece la evaporación de contaminantes volátiles (González-Rojas, 2011). Al tratarse de una remediación natural el suelo sufre un mínimo impacto, asimismo tiene la capacidad de combinar la ventilación del suelo con la biorremediación para eliminar hidrocarburos (Hoeppel, Hinchee, & 1991). El bioventing es mil veces más efectivo que el agua al penetrar los poros y ventilar los horizontes (Dupont,1993). Esta técnica se utiliza en suelos insaturados (FRTR).

DESVENTAJAS

No se puede aplicar en suelos permeables ya que no hay espacio suficiente en los poros para la movilidad del oxígeno (Larson & Hoeppel, 2004). Solo se recomienda utilizarlo para suelos muy profundos. La presencia de alta humedad o de baja permeabilidad reduce el rendimiento del bioventing, puede que en algunas ocasiones se requiera de un monitoreo de vapor en la superficie (FRTR).

(b) Bioestimulación, López, E., Cisneros, S., & Ochoa, J. (2016) la define como una técnica que “consiste en la introducción de modificaciones en el medio afectado, para favorecer o potenciar la biorremediación intrínseca” (p.5). Para esto se utiliza la circulación de soluciones acuosas que proporcionen oxígeno y nutrientes (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018).

VENTAJAS

Se utiliza para remediar suelos contaminados con gasolinas, Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), metales y pesticidas (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018). Durante la bioestimulación se puede emplear sales inorgánicas simples (SIS) o fertilizantes inorgánicos compuestos (FIC; Roldán, 2011). Al momento de incrementar los nutrientes en el suelo se favorece el

crecimiento de los microorganismos y así mejorar la velocidad de la degradación (Rodríguez et al., 2012).

DESVENTAJAS

Es una técnica para la cual no se recomienda en suelos arcillosos o altamente estratificados. Si el suelo no presenta características que promuevan el crecimiento bacteriano esta técnica no funcionará. El empleo de bioaumentación, así como la profundidad y naturaleza de los contaminantes pueden originar un incremento en los costos (Van Deuren et al., 1997).

(c) Bioaumentación es la utilización de bacterias que tienen como función específica de incrementar su número y la celeridad de la digestión de contaminantes, no se presentan naturalmente en un sitio (Longo, 2015). Los organismos se pueden obtener del propio suelo contaminado o exógenos al medio (Bossert & Kosson, 1997; Walter, 1997), su eficiencia dependerá de los factores abióticos y bióticos (Mrozik & Piotrowska-Seget, 2010) presentes en el suelo.

VENTAJAS

Mejora la inactividad, reducción de volúmenes de lodos, mejora la sedimentación de sólidos (Martínez-Prado et al., 2011), disminución en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO; FRTR, 2018). Se hace selección de los microorganismos adecuados para que no solo puedan degradar el contaminante, sino que también para combatir con éxito con ayuda de microflora indígena (Mrozik & Piotrowska-Seget, 2010).

DESVENTAJAS

Existen dos razones que dificultan su aplicación (Peña, 2016): primero el tamaño de la población de los microorganismos degradadores, ya que, puede que crezca rápidamente como respuesta (González-Rojas, 2011) y segundo, que la supervivencia de los microorganismos durante su aplicación dependerá de factores difícilmente controlables.

(d) Fitorremediación es un tratamiento natural (Ortiz et al., 2007), en donde se evidencia la reducción de compuestos, a partir de procesos bioquímicos que realizan las plantas y microorganismos que se encuentren en contacto con ellas (Delgadillo-López et al., 2011). Asimismo, es un tipo de tecnología emergente que no genera algún tipo de destrucción en el suelo durante la remediación (Wenzel, Unterbrunner, Sommer & Sacco, 2003). Es una técnica que permite trabajar y estabilizar de manera eficiente y rentable las contaminantes *in situ* (Wenzel, Adriano, Salt & Smith, 1999).

VENTAJAS

Las plantas desarrollan un rol importante gracias a su capacidad de catalizar otros procesos *in vitro* otros procesos naturales (Wenzel, Adriano, Salt & Smith, 1999); ya que se aprovecha su capacidad de absorber acumular, metabolizar y estabilizar el contaminante (Delgadillo-López et al., 2011). Existe una amplia variedad de especies que se emplean para este fin, fitoremediar (Delgadillo-López et al., 2011).

DESVENTAJAS

En especies como árboles o arbusto la fitorremediación tiene un proceso mucho más lento, así como también su crecimiento puede estar restringido por la toxicidad presente en el ambiente (Delgadillo-López et al., 2011; Bernal-

Figuroa,2014). Asimismo, los contaminantes bioacumulados pueden ser liberados por la madera en el proceso de combustión (López, Vong, Borges, & Olgúin, 2004). Solamente podrán absorber el contaminante hasta la profundidad que puedan alcanzar con su raíz; no todas las plantas serán capaces de acumular o tolerantes al medio expuesto (Bernal-Figueroa,2014).

(e) Atenuación Natural es un método pasivo que se da en el ambiente natural ya que depende de los procesos naturales para degradar y disipar los contaminantes (Kao, 2001). Puesto que gracias a los procesos físico-químicos que se dan de forma natural en el suelo se produce la biotransformación natural (Román, 2005). La atenuación es también conocida como “biodegradación intrínseca” (Romaniuk et al., 2007). En este proceso pasivo se aprovechan los procesos naturales (dilución, volatilización, biodegradación, adsorción y transformación química; Comunidad de Madrid, 2001-2006) y reacciones químicas (intercambio catiónico, evolución abiótica; Gómez Rivera, 2015)

3.2. Ventajas

Es una técnica que se puede realizar *in situ* como una práctica “costo-efectiva” óptima de bajo riesgo (Romaniuk et al., 2007). Técnica no invasiva, que permite la utilización del lugar mientras se está realizando la limpieza, la superficie del suelo puede seguir usándose mientras se lleva a cabo su recuperación en el sub suelo (Longo, 2015). Por lo usual es una opción eficaz y económicamente rentable para problemas de contaminación. Asimismo, no requiere de una fuente de energía especial o de equipos (EPA, 1996). Si hay contaminación por hidrocarburos móviles y tóxicos, se recomienda la aplicación de atenuación. Así como también en suelos con materia orgánica abundante, zonas pantanosas o pantanos (EPA, 1996).

3.3. Desventajas

La atenuación natural puede conllevar mucho tiempo (años) para que el suelo pueda regresar a un estado de equilibrio (Carrillo-González, Perea-Vélez & González-Chávez, 2017). Requiriendo de supervisión a largo plazo para corroborar la disminución del concentrado del contaminante o lo necesario para que ya no represente una amenaza (EPA, 1996).

3.3.1. REMEDIACIÓN *EX SITU*

Son aquellas técnicas que requiere de una excavación para poder realizar los procesos de descontaminación del suelo afectado, para lo cual se requiere incrementar costos (Sepúlveda, 2005) por lo general estas técnicas se realizan en menor tiempo y pueden ser de manera *on site* (mismo sitio) u *off site* (fuera de él; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018), las técnicas que resaltan son las siguientes:

(a) Biopilas es la construcción de pilas con material biodegradable (materia orgánica y suelo contaminado) en óptimas condiciones para el proceso de biodegradación (Torres & Zuluaga, 2009; Maroto & Rogel, 2002). Las biopilas son expuestas a aireación de manera activa volteando las pilas y de manera pasiva mediante la inyección de tubos de aire (Maroto & Rogel, 2002). Esta metodología se caracteriza por la utilización de una cavidad de contención y un manejo del material contaminado a resolver (Delgadillo-Martínez, 2016).

VENTAJAS

La elaboración y diseño de las biopilas son realmente fáciles, no requiere de una enorme inversión, bajo consumo energético y con gran capacidad de tratar grandes volúmenes de suelo (Delgadillo-Martínez, 2016). Además, el suelo obtenido de la biopila no necesita ser confinado posteriormente (Iturbe-Argüelles,

Flores-Torres, Chávez-López & Roldán-Martín, 2002). Se puede aplicar en climas fríos ya que en el interior de la biopila llegan a temperaturas de hasta 70 °C (Delgadillo-Martínez, 2016).

DESVENTAJAS

Por lo general se recomienda para hidrocarburos no halogenados (concentraciones menores a 50 000 ppm; Iturbe-Argüelles, Flores-Torres, Chávez-López & Roldán-Martín, 2002), requiere de una gran extensión de terreno para poder realizar las biopilas (Maroto & Rogel, 2002). Requiere de maquinaria para poder remover el suelo, mantener su humedad, airear el suelo, etc (Delgadillo-Martínez, 2016).

(b) Compostaje es una técnica de biorremediación en donde se utiliza microorganismos activos presentes en la matriz de contaminantes (Taiwo et al., 2016), estos microorganismos realizan una descomposición aerobia de la materia orgánica existente del fango deshidratado, para formar así un nuevo producto (Mahamud, Gutiérrez & Sastre, 1996) se puede elaborar desde estiércol de vaca, aserrín, etc. Durante un compostaje ocurren reacciones que comúnmente ocurren en el suelo más con una cinética mucho más rápida (Mahamud, Gutiérrez & Sastre, 1996).

VENTAJAS

Es una solución de bajo costo y efectiva para la remediación de suelos con residuos de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP), Hidrocarburos Aromático Policíclicos (HAPs) e incluso pesticidas (Eweis et al. 1998). Se pueden utilizar desechos desde residuos agrícolas, desechos de jardinería, cocina e incluso residuos sólidos municipales y lodos (Trejo & Sepúlveda, 2003). El compostaje

puede ser combinado con otros tipos de remediación de suelos (Mahamud, Gutiérrez & Sastre, 1996).

DESVENTAJAS

Para el caso de hidrocarburos se recomiendan concentraciones que no excedan los 50 000 ppm.; la disminución de presencia microbiana provocará una deficiencia en el proceso; en el suelo se debe de excavar lo que conlleva a una liberación de compuestos orgánicos volátiles (Trejo & Sepúlveda, 2003). Para el compostaje se necesita de contenidos de sólidos entre un rango de 40 a 60%, así como también de un sistema de aireado a presión (Mahamud, Gutiérrez & Sastre, 1996).

(c) Lodos es la técnica que mezcla suelo contaminado y un líquido generado lodo, aquí es donde se da degradación por microorganismos en suspensión o inmovilizados en la parte sólida (Trejo, 2002). Asimismo, es un proceso también se puede llevar a cabo en lagunas construidas o en reactores sofisticados con control de mezclado automático (Alexander, 1994).

VENTAJAS

Se emplean principalmente para Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTPs), COs no halogenados y Compuestos Organicos Volatiles (COVs; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018).

DESVENTAJAS

La aplicación de esta tecnología ya que requiere de biorreactores el uso de estos estaría entre 130 y 200USD/m³ (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático).

(d) Landfarming

Es una técnica que permite disminuir la concentración de hidrocarburos de petróleo de peso mediano, que quedan como rezago de la evaporación ya que este sí puede ser degradados por microorganismos (Ortiz et al., 2007). Esta consiste en realizar un vertido controlado del hidrocarburo sobre una superficie, en donde se le aplicara arado y riego superficial con aditivos (fertilizantes;Álvares & Díaz, 2004) o aplicación de residuos de fondo de tanque de crudo en una delgada capa sobre otro suelo para el mismo fin (Belloso, Carrario & Viduzzi,1998).

VENTAJAS

Ha sido una buena técnica para la remediación de hidrocarburos de petróleo como: gasoil, hidrocarburos policíclicos aromáticos queroseno, etc (González-Rojas, 2009) es fácil de implementar y diseñar, ya que simplemente consiste en colocar sobre un terreno el suelo contaminado y realizar técnicas de laboreo, es decir, agitación del suelo, nutrientes, etcétera (Eweis et al.,1998). Además, el tiempo que demora en degradar oscila de 6 meses a 1 año (Caiza-Moreno, 2012).

DESVENTAJAS

Requiere de excavación del suelo que puede liberar VOCs, además de airear y regar se tiene que agregar nutrientes (González-Rojas, 2011). Requiere espacios grandes para su aplicación. Necesita de un área para la instalación del agua lixiviada, la cual debe ser adicionalmente tratada (EPA). Solo se pude evidencia la reducción del hidrocarburo en un 80% (Caiza-Moreno, 2012).

CONCLUSIONES

- Las técnicas de recuperación natural para suelos contaminado después de haber sido analizado sus ventajas y desventajas, todas son eficientes en cuanto a degradación de hidrocarburos, y lo que es aún más importante que no dejan ningún impacto negativo en el suelo.
- Las técnicas que demandan un mayor esfuerzo de trabajo durante todo su proceso son biopilas, landfarming y compost, ya que se requiere de maquinaria pesada y bombas de aireación.
- Las metodologías en su mayoría son de una inversión mínima, a excepción de del Landfarming y lodos, que demanda de mayor inversión ya sea por las bombas que se requiere para su aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, J. A., & Diaz, M. A. (2004). Alternativas para la remediación de ecosistemas contaminados por hidrocarburos.

Adams, M. (1995). Fundamentos de química de suelos. CDCH UCV.

Belloso, C., Javier, C., & de IngenierYa Sanitaria, A. P. (1998). Biodegradación de hidrocarburos en suelos contenidos en terrarios. In Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 26 (AIDIS 98) (pp. 1-6). APIS.

Bernal-Figueroa, A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. Colombia: Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/10596/15984>

Bossert, I.D &D.S., Kosson(1997). Methods for measuring hydrocarbon biodegradation in soils. En Manual of Environmental Microbiology. Cap 80

de Biotransformations and Biodegradation. American Society for Microbiology. Washington D.C..

Brown, R.A., R.E. Hincbee, R.D. Norris and J.T. Wilson. (1996). Bioremediation of petroleum hydrocarbons: A flexible, variable speed technology. Remediation, 6, 95-109

Comunidad de Madrid. (2004). Guía de tecnologías de recuperación de suelos contaminados. Octubre 09,2018, de PLAN REGIONAL DE ACTUACIONES EN MATERIA DE SUELOS CONTAMINADOS DE LA COMUNIDAD DE MADRID Sitio web:
<http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DA+Guia+de+Tecnologias+de+Recuperacion+de+Suelos+Contaminados.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352901088760&ssbinary=true>

Caiza-Moreno, Z. M. (2012). *Tratamiento biológico de lodos de limpieza procedentes de los fondo de los tanques de crudo, residuos y combustibles blancos de la Refinería La Libertad*(Bachelor's thesis, Quito, 2012.).

Cando,M. (2011). Determinación y análisis de un proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Octubre 09,2018, de Universidad Politecnica Salesiana Sitio web:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1520/11/UPS-CT002143.pdf>

- Carrillo-González, R., Perea-Vélez, Y. S., & González-Chávez, M. C. A. (2017). Fitorremediación asistida con enmiendas y fitoestabilización de elementos potencialmente tóxicos. *Agroproductividad*, 10(4).
- Delgadillo-Martínez, J. (2016). Compostaje en biopilas para la limpieza de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo. *Agro Productividad*, 9(8).
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.
- Dupont, R. R. (1993). Fundamentals of bioventing applied to fuel contaminated sites. *Environmental progress*, 12(1), 45-53.
- Dupont, R.R., Doucette, W.J., & Hincbee, R.E. (1991). Assessment of in situ bioremediation potential and the application of bioventing at a fuel-contaminated site. United States: Butterworth Publishers.
- Eweis, J.B., S.J. Ergas, D.P. Chang y E.D. Schroeder (1998). Bioremediation principles. McGraw-Hill International Editions. 296 pp.
- EPA. (1996). Guía del ciudadano: Atenuación natural. Octubre 08,2018, de Organismo para la Protección del Medio Ambiente (Estados Unidos) Sitio web:http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/index.cgi/4303362/FID3482/pdf/citguide/spannatt.pdf
- EPA (1995). Manual Bioventing Principle and Practice. Volume II:Bioventing Desing.Recuperado de: <https://clu-in.org/download/techfocus/bio/540R95534b.pdf>

FAO. “¿Qué es el suelo?”. Octubre 09,2018, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FRTR.Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0. “Bioventing”. Recuperado de: https://frtr.gov/matrix2/section4/4_1.html

Gómez Rivera, M. E. (2015). Estudio comparativo de la biodegradación de hidrocarburos totales de petróleo (HTP's) por medio de la atenuación natural, la bioestimulación y la bioaumentación en un suelo contaminado.

González-Rojas, E.(2009) Técnicas de biorremediación en litorales afectados por el vertido de fuel pesado del Prestige. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. Oviedo - España.

González-Rojas, E. H. (2011). Concepto y estrategias de biorremediación. *INGE@UAN-Tendencias en la Ingeniería*, 1(2).

Hinchee, R. E. (2017). Bioventing of petroleum hydrocarbons. In Handbook of Bioremediation (1993) (pp. 39-60). CRC Press.

Hoepfel, R. E., Hinchee, R. E., & Arthur, M. F. (1991). Bioventing soils contaminated with petroleum hydrocarbons. *Journal of Industrial Microbiology*, 8(3), 141-146.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático(INECC). Tecnologías de remediación. Noviembre 19,2018, de Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Sitio web: López, R. A. N., Vong, Y. M., Borges, R. O., & Olguín, E. J. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones

- INIA Tacuarembó. (2015). "Semana de la ciencia y Tecnología". Octubre 08,2018, de Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
- Iturbe-Argüelles, R., Flores-Torres, C., Chávez-López, C., & Roldán-Martín, A. (2002). Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante biopilas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología III*, 1, 25-35.
- Jordán, A. (2005-2006). Manual de Edafología. Octubre 08,2018, de Universidad de Sevilla
- Kao, C. M., Chen, S. C., Liu, J. K., & Wang, Y. S. (2001). Application of microbial enumeration technique to evaluate the occurrence of natural bioremediation. *Water research*, 35(8), 1951-1960.
- Larson, S., & Hoeppe, R. (2004). *Cost and performance report for natural pressure-driven passive bioventing* (No. NFESC-TR-2253-ENV). NAVAL FACILITIES ENGINEERING SERVICE CENTER PORT HUENEME CA.
- López, R. A. N., Vong, Y. M., Borges, R. O., & Olguín, E. J.(2004) Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones.
- López, E., Cisneros, S., & Ochoa, J. (2016). Procesos de bioestimulación para la remediación de suelos agrícolas contaminados con tebuconazol y λ -cialotrina. *Rev. Simulación y Lab*, 3(8), 1-9.
- Longo, A.(2015)"Aplicación de la tecnología Atenuación Natural Monitorizada(ANM) como alternativa de manejo de los Recursos Naturales Renovables, suelo y agua, contaminados con hidrocarburos provenientes de la industria petrolera"(Tesis de grado) Universidad Nacional de Cuyo,Argentina.

- Liu, M. H., Li, K. H., & Chen, B. Y. (2017). Using bubble respirometer to monitor microbial activity in passive bioventing system. *Journal of Environmental Biology*, 38(2), 321.
- Mahamud, M., Gutiérrez, A., & Sastre, H. (1996). Biosólidos generados en la depuración de aguas:(II). Métodos de tratamiento. *Ingeniería del agua*, 1996, vol. 3, núm. 3.
- Maroto, M. E., & Rogel, J. M. (2002). Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. *MMWR URL disponible [En línea] En: <http://aguas.igme.es/igme/publica/pdf/lib15/028.pdf>, [Consulta: 03 de septiembre de 2010]*.
- Martínez, V. E., & López, M. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra latinoamericana*, 19(1).
- Martínez-Prado, A., PÉREZ-LÓPEZ, M., Pinto-Espinoza, J., Gurrola-Nevárez, B. A., & Osorio-Rodríguez, A. L. (2011). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(3), 241-252.
- Ministerio del Ambiente. (2014). "Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos". Octubre 08,2018, de Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM
- Ministerio de Medio Ambiente. (2007). "Guía Técnica de aplicación del RD 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados". Octubre 08,2018, de Ministerio

de Medio Ambiente, Ministerio de Educación y Ciencia Sitio web:
https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/suelos-contaminados/guia_tecnica_contaminantes_suelo_declaracion_suelos_tcm30-185726.pdf

- Mrozik, A., & Piotrowska-Seget, Z. (2010). Bioaugmentation as a strategy for cleaning up of soils contaminated with aromatic compounds. *Microbiological research*, 165(5), 363-375
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de Vigilancia Tecnológica. Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación. España.
- Peña, M. J. H. (2016). *Comparativa de métodos de descontaminación de suelos afectados por hidrocarburos. Aplicación a la obra del AVE de Málaga* (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).
- Pritchett, W. L. (1986). Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento (No. 968-18-1784-2. FT 02-D2.). México^ eD. FDF: Limusa.
- Rodríguez, N. J. P., Acevedo, S. C., Gallo, A., & Mesa, G. P. (2012). Comparación entre bioestimulación y bioaumentación para la recuperación de suelos contaminados con diesel. *Producción+ Limpia*, 7(1), 101-108.
- Roldán, F. (2011). Evaluación de la bioestimulación (nutrientes) en suelos contaminados con hidrocarburos utilizando respirometría. *Acta Biológica Colombiana*, 16(1), 195-208.

- Román, M. C. R., & Pallás, J. L. C. (2005). Guía técnica de atenuación natural monitorizada en emplazamientos contaminados [técnicas de bioestimulación y bioaumentación para la potenciación de la biodegradación de contaminantes.
- Romaniuk, R., Brandt, J. F., Rios, P. R., & Giuffré, L. (2007). Atenuación natural y remediación inducida en suelos contaminados con hidrocarburos. *Ciencia del suelo*, 25(2), 139–149.
- Sepúlveda, T. V. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Instituto Nacional de Ecología.
- Taiwo, A. M., Gbadebo, A. M., Oyedepo, J. A., Ojekunle, Z. O., Alo, O. M., Oyeniran, A. A., ... & Taiwo, O. T. (2016). Bioremediation of industrially contaminated soil using compost and plant technology. *Journal of hazardous materials*, 304, 166-172.
- Torres, K., & Zuluaga, T. (2009). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Trejo, J. A. V. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología.
- Trejo, J. A. V., & Sepúlveda, T. L. V. (2003). El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. *Gaceta Ecológica*, (66), 41-53.
- Van Deuren, J., Z. Wang, Z. y J. Ledbetter (1997). *Remediation Technologies*

- Walter, M. V. (1997). Bioaugmentation In Hurst, Ch. J., Knudsen, Gra. McInerney, M. J., LStetzenbach, L. D. and Walter, M. V. Manual of Environmental Microbiology. American Society for Microbiology. Eashington D. C. pp:753-757.
- Wenzel, W. W., Adriano, D. C., Salt, D., and Smith, R. (1999). Phytoremediation: a plant-microbe-based remediation system. In: Adriano, D. C., Bollag, J. M., Frankenberger, W. T., and Sims, R. C. (Eds.), Bioremediation of Contaminated Soils. ASA Monography nº 37. Madison, WI, USA. pp. 456-508.
- Wenzel, W. W., Unterbrunner, R., Sommer, P., and Sacco, P. (2003). Chelate-assisted phytoextraction using canola (*Brassica napus* L.) in outdoors pot and field-lysimeter experiments. *Plant and Soil*, 249: 83-96.