

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y FINANCIERA PARA LA  
CREACIÓN DE UNA PLANTA DE BIORREMEDIACIÓN**

**ANDRES EFREN FRANCO QUIMBAYO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2016**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECÓNOMICA Y FINANCIERA PARA LA  
CREACIÓN DE UNA PLANTA DE BIORREMEDIACIÓN**

**ANDRES EFREN FRANCO QUIMBAYO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS**

**Director**

**PAOLA ANDREA BOHORQUEZ**

**INGENIERA AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA  
2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

*El autor de este proyecto de grado expresa sus sinceros agradecimientos a:*

*A Dios por cada día de vida, por guiarnos durante cada paso de este camino y permitirnos culminar con éxito esta nueva etapa de nuestras vidas.*

*A la Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS por crear este espacio para compartir conocimientos y experiencias, reflexionar y ampliar nuestra visión de la industria y por darnos la oportunidad de seguir creciendo como personas y profesionales.*

*A cada empresa que aportó para poder realizar esta monografía.*

*Al grupo de estudiantes y docentes de la X promoción de la Especialización en Gerencia de Hidrocarburos, por haber hecho de cada clase una experiencia inolvidable, por todo lo que pudimos aprender de cada uno de ustedes y por terminar este curso con muchos nuevos amigos.*

## DEDICATORIA

*A Ángela Esteban y Juan Ángel, por estar a mi lado a cada instante y por ser esa energía inagotable de motivación, apoyo absoluto, tan importantes para la finalización de este proyecto.*

*A mis padres, quienes han sido motivación y ejemplo en mi vida, por guiarme con esfuerzo y determinación para alcanzar todas las metas.*

*Y a toda mi familia y amigos que han sido un apoyo constante en mi proceso de formación*

*Andrés Efrén Franco Quimbayo*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	12
1. GENERALIDADES SOBRE BIORREMEDIACIÓN.....	13
1.1 ANTECEDENTES SOBRES EL USO DE BIORREMEDIACIÓN EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS.....	13
1.2 MÉTODOS DE BIORREMEDIACIÓN .....	15
1.2.1 Micorremediación .....	15
1.2.2 Fitorremediación .....	16
1.2.3 Bioventilación.....	16
1.2.4 Biolixiviación .....	17
1.2.5 Cultivo de tierras .....	17
1.2.6 Biorreactor .....	18
1.2.7 Rizofiltración .....	18
1.2.8 Bioestimulación.....	19
1.2.9 Landfarming.....	20
1.3 Componente Económico y Financiero.....	22
1.3.1 Ingeniería Económica .....	22
1.3.2 Gerencia Del Talento Humano .....	23
1.3.3 Responsabilidad Empresarial.....	23
2. DISEÑO DE LA PLANTA.....	25
2.1 Tipos De Contaminante Y Caracterización.....	25
2.2 Etapas De La Planta Depuradora De Aguas .....	25
2.2.1 Pre-tratamiento .....	25
2.2.2 Depuración Primaria .....	26
2.2.3 Depuración Secundaria .....	26
2.3.4 Beneficios De Una Planta De Biorremediación.....	27
3. ANALISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.....	30
3.1. Modelo de inversión .....	31
4. CONCLUSIONES .....	40
BIBLIOGRAFIA.....	41

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diseño posible de una planta depuradora de aguas.....	26
Figura 2. Diseño de locación para Landfarming.....	27

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Precios de tratamientos en el mercado.....	30
<i>Tabla 2. Producción estimada del proyecto</i> .....	31
Tabla 3. Ingresos estimados del proyecto .....	32
Tabla 4. Costos.....	33
Tabla 5. Gastos.....	34
Tabla 6 No operacional.....	35
Tabla 7 Inversiones.....	36
Tabla 8 Resultados del ejercicio .....	37

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA Y FINANCIERA PARA LA CREACION DE UNA PLANTA DE BIORREMEDIACION

**AUTORES:** ANDRES EFREN FRANCO.

**PALABRAS CLAVES:** Biorremediación, Landfarming, Micorremediación, Biorreactor

### **DESCRIPCIÓN:**

En la industria del petróleo se generan diferentes tipos de residuos contaminantes sólidos y líquidos, que al interior de las locaciones ocasionan altos niveles de contaminación al medio ambiente, además pérdida de tiempo operacional por cuanto algunas plantas no cuentan con horarios extendidos para recibir estos residuos, lo que trae como consecuencia retrasos en las mismas mientras se espera quien y como realizará la disposición más adecuada de estos residuos.

La persistencia de este problema puede a mediano o largo plazo provocar contaminación de la zona de influencia y por ende sanciones por incumplimiento a la normatividad ambiental que exige el cuidado de los ecosistemas intervenidos por la industria de los hidrocarburos.

La contaminación por derivados del petróleo es muy nociva para el medio ambiente y la salud de los seres humanos, la biorremediación es una herramienta con la cual se puede ayudar a minimizar estos impactos y hacerlos más amigables para el medio ambiente a través de los diferentes métodos existentes, los cuales varían en costos según la tecnología a aplicar.

Aplicando los diferentes procesos tecnológicos podemos aprovechar los procesos de biorremediación haciendo uso de los microorganismos que permite transformar las moléculas orgánicas en otras sustancias menos tóxicas para el medio ambiente y los seres humanos.

De igual manera la creación de una planta de tratamiento en zona de influencia de la industria petrolera conlleva a mejorar la calidad de vida para los pobladores de la región por cuanto genera cultura de cuidado con el medio ambiente, menor impactos ambientales negativos, posibilidades de trabajo y desarrollo económico para la región.

---

\*Monografía de Especialización.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Directora Ing. Paola Bohorquez

## ABSTRACT

**Title:** technical, economic and financial feasibility study for the creation of a bioremediation facility\*.

**Author:** Andres Efren Franco\*\*

**Key words:** bioremediation, land farming, mycoremediation, bioreactor

### Description

In oil industry different solid and liquid polluting waste types are generated, which produce high levels of contamination inside the locations and environment, leading to loss of operational time due to the lack of extended schedules to collect the waste, some tasks require more time than scheduled producing delays while whom and how the waste will be properly handled is dealt with.

The persistence of this problem may in mid or long term, provoke pollution of the influence zone, thus carrying penalties for noncompliance of environmental regulations, which requires the care of intervened ecosystems by the hydrocarbon industry.

Petroleum derivative pollution is quite harmful for environment and human beings health, bioremediation is a tool that helps minimizing the impact to environment through different current methods, which costs vary according to the technology involved.

Applying different technological processes, it is possible to take advantage of bioremediation, making use of microorganisms which permit the transformation of organic molecules into other less toxic substances for the environment and humans.

Similarly, the creation of a treatment facility within the petroleum industry influence zone leads to improvement of life quality of the inhabitants, as it generates environmental care culture, job opportunities and economic development in the region.

---

\* Specialization Monograph

\*\* Physic-chemist Engineering Faculty. Petroleum Engineering School, Director Paola Bohorquez B.Sc

## INTRODUCCIÓN

En las actividades de Workover, estimulación a pozo, fracturamiento hidráulico y trabajos de producción, se generan residuos contaminados con hidrocarburos, los cuales son necesarios disponer en un lugar adecuado, estos se caracterizan para identificar la mejor técnica de biorremediación, es ideal que estas plantas estén ubicadas en las áreas circunvecinas a los lugares de explotación de hidrocarburos para poder atender de manera oportuna las necesidades requeridas por las operadoras.

Para el desarrollo de este trabajo se realizaron estimaciones de volúmenes generados por las operadoras, además se realizó un análisis del mercado para conocer los precios de los servicios de biorremediación prestados en diferentes plantas y se analizaron los servicios prestados por estas empresas para así poder avanzar en nuestro estudio, finalmente se ejecutó un modelo financiero para ver la factibilidad económica del proyecto y poder generar conclusiones.

Con la creación de una planta de biorremediación, se ayudará a dar soluciones a las diferentes empresas operadoras de hidrocarburos que generan estos residuos, se afianzarán los conceptos adquiridos durante la etapa de formación académica y se contribuirá con la creación de empleos directos a las personas de la región y por ende a mejorar la economía de la región y del país.

## 1. GENERALIDADES SOBRE BIORREMEDIACIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES SOBRES EL USO DE BIORREMEDIACIÓN EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS.

A continuación se presentan algunos casos en los que se ha aplicado la biorremediación para tratar la contaminación provocada por hidrocarburos.

En nuestro país, el transporte de crudo y sus derivados se ha visto afectado considerablemente durante los últimos años, por una permanente actividad terrorista contra los oleoductos e instalaciones petroleras. En el suelo los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmosfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos como evaporación y penetración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida puede ser más o menos lentos, ocasionando una mayor toxicidad, además de tener una moderada, alta o extrema salinidad, dificultando su tratamiento. Altos gradientes de salinidad pueden destruir la estructura terciaria de las proteínas, desnaturalizar enzimas y deshidratar células, lo cual es letal para muchos microorganismos usados para el tratamiento de aguas y suelos contaminados.<sup>1</sup>

En Colombia, los residuos sólidos y líquidos contaminados con aceites e hidrocarburos son considerados como residuos peligrosos según el anexo I y II numeral nueve (9) del convenio de Basilea, aprobado por la Ley 253 de 1996 (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005). En esta categoría entran de igual manera los sedimentos contaminados con hidrocarburos, producto

---

<sup>1</sup>BENAVIDES LOPES DE MESA, Joaquin, QUINTERO Gladis, GUERVARA VIZCANIO Andrea Liliana, JAIMES CACERES, Diana Carolina, MIRANDA GARCIA, Johanna, "Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo", {En línea}. Enero-Junio de 2006 disponible en:(  
[http://www.articulo.org/articulo/11698/tratamiento\\_de\\_los\\_residuos\\_derivados\\_de\\_\\_\\_la\\_extraccion\\_de\\_los\\_\\_\\_hidrocarburos\\_gasto\\_o\\_inversion.html](http://www.articulo.org/articulo/11698/tratamiento_de_los_residuos_derivados_de___la_extraccion_de_los___hidrocarburos_gasto_o_inversion.html)).

del mantenimiento de las estructuras, de las estaciones de servicio, entre los procesos de remediación de hidrocarburos, la biorremediación activa está emergiendo como una tecnología prometedora, ya que se ha definido como "el acto de utilizar procesos naturales inducidos a ambientes contaminados para producir una aceleración de los procesos de degradación", logrando mejores tasas de remediación en menor tiempo. Esta tecnología se basa en la premisa de que un gran porcentaje de los componentes del hidrocarburo son biodegradables en la naturaleza, además de presentar varias ventajas potenciales sobre las tecnologías convencionales, como menor costo, son menos intrusivos en el sitio contaminado, más respetuosas del medio ambiente en términos de sus productos finales y requieren de un mínimo o ningún tratamiento posterior.

Se consideró que la tecnología de biorremediación con las estrategias de bioestimulación y bioaumentación, que se pueden llevar a cabo dentro de las instalaciones de la estación de servicio, contribuyendo así a la disminución de los impactos negativos a los recursos naturales, dados por esta actividad, además de aportar un referente científico-práctico de estas estrategias, que pueden ser consideradas parte de las actividades dentro del plan de contingencia, que estas instalaciones deben presentar a las autoridades ambientales, según Decreto 3930 de 2010, según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-Colombia.

Se pueden plantear estrategias similares para la remediación de los sitios contaminados anteriormente, tanto por actividades de estaciones de servicio de combustible, como talleres mecánicos, diagnósticentros, lavaderos de autos, entre otros, con similares condiciones, traduciéndose así en empresas que llevan a cabo iniciativas de soluciones ambientales, que promueven el desarrollo y difusión de tecnologías amigables y como consecuencia empresas más competitivas y con mayor responsabilidad social.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> ÑUESTE CUARTAS, Diana Cristina, Biorremediación Para La Degradación De Hidrocarburos Totales Presentes En los Sedimentos De Una Estación De Servicio De Combustible, Pereira, 2012,

## 1.2 MÉTODOS DE BIORREMEDIACIÓN

### 1.2.1 Micorremediación

La micorremediación es una forma de biorremediación en la que se emplean hongos para descontaminar un área, en concreto a través del uso de micelios, el cuerpo vegetativo del hongo, difícil de estudiar debido a su carácter subterráneo y fragilidad.

Las posibilidades de la micología como herramienta para la biorremediación, a través de trabajos como el del estadounidense Paul Stamets, convencido de que los micelios pueden salvar el mundo y, de paso, la civilización humana. Los micelios son la maraña de conductos filamentosos que conforman la parte subterránea del hongo, con un aspecto a cabello entre un sistema nervioso primigenio y las raíces de una planta. Uno de los roles del reino de los fungí en los ecosistemas es la descomposición de la materia orgánica que a continuación nutre a árboles y el resto de plantas, llevado a cabo por los micelios, la parte no visible de los hongos y setas. Los micelios segregan enzimas extracelulares y ácidos capaces de descomponer la celulosa y la lignina, componentes estructurales de la fibra vegetal. Gracias a su tarea, los ecosistemas procesan con mucha mayor rapidez y efectividad la materia orgánica muerta y la convierten en nutrientes para las plantas, con las que se asocian. Debido a su capacidad para descomponer materia orgánica, los micelios pueden ser empleados para transformar hidrocarburos e incluso gases nerviosos (como el VX y el sarín) en fertilizante orgánico, de un modo económico.<sup>3</sup>

---

6p. Trabajo de Grado (magister en Ecotecnología). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales

<sup>3</sup> Boullosa, Nicolas. Biorremediación: 10 métodos de recuperación ecológica {En Línea} {21/03/2015} disponible en (<http://faircompanies.com/news/view/biorremediacion-10-metodos-recuperacion-ecologica/>).

### **1.2.2 Fitorremediación**

La fitorremediación se refiere al tratamiento de problemas medioambientales mediante el uso de plantas, un proceso más sencillo y mucho menos costoso que modalidades tradicionales, como excavar el material contaminante y depositarlo en un lugar controlado. Asimismo, como el resto de modalidades de biorremediación, se evita el impacto ecológico de la maquinaria y el transporte de las sustancias peligrosas, que además deben ser almacenadas y no desaparecen, en cambio, la fitorremediación usa plantas que absorben del suelo las sustancias contaminantes. Se han usado técnicas de restauración medioambiental con plantas en distintas situaciones: tanto cuando la contaminación se concentra en el suelo como el agua o incluso el aire.

Se emplean en el proceso plantas con la habilidad de absorber y acto seguido degradar o eliminar pesticidas, solventes, explosivos, hidrocarburos y sus derivados, así como otras sustancias tóxicas tales como restos de metales pesados. La fitorremediación se ha usado con éxito para restaurar el suelo de minas abandonadas, incluyendo minas de carbón, donde abundan sustancias tóxicas como los bifenilos policlorados o PCB.<sup>4</sup>

### **1.2.3 Bioventilación**

La bioventilación se sirve de microorganismos para descomponer sustancias tóxicas que han sido absorbidas por el agua. El objetivo de esta práctica es estimular a las bacterias ya presentes en el área degradada, para así acelerar la biodegradación de los hidrocarburos. Consiste en insuflar oxígeno y, si es necesario, añadir nutrientes para facilitar el crecimiento bacteriano. El oxígeno es inducido a través de una inyección directa de aire en el lugar donde se ha

---

<sup>4</sup> lbip, p. 1

producido la contaminación. Se emplea con éxito como asistencia para acelerar la degradación de residuos de crudo, aunque también para disipar compuestos orgánicos volátiles (VOC en sus siglas en inglés), vapores o gases presentes en combustibles fósiles, disolventes y pinturas. Los VOC son liposolubles y afectan al sistema nervioso central. También pueden ser cancerígenos, como el benceno. De ahí la conveniencia y premura de reducir su presencia en zonas contaminadas.<sup>5</sup>

#### **1.2.4 Biolixiviación**

A través de la biolixiviación, es posible extraer metales específicos de los minerales en que están encastados, un método con mucho menos impacto que la lixiviación tradicional, en la que se emplea cianuro, especialmente tóxico para la vida. La biolixiviación gana terreno entre las técnicas de minería más prometedoras para el futuro, debido a su menor impacto ecológico y a la ausencia de contaminación del suelo. La biohidrometalurgia, práctica minera que engloba a la biolixiviación, se usa para obtener cobre, zinc, arsénico, antimonio, níquel, molibdeno, oro, plata y cobalto.<sup>6</sup>

#### **1.2.5 Cultivo de tierras**

El ser humano ha empleado el cultivo agrícola como tratamiento de biorremediación del suelo superficial desde tiempos inmemoriales. El proceso es tan sencillo como efectivo: suelos contaminados por purines, sedimentos o lodos tóxicos, se incorporan a la superficie del suelo cultivable, que es arado en varias ocasiones para airear la nueva composición. Se ha usado con éxito durante años para disipar altas concentraciones de hidrocarburos y pesticidas, sin usar más

---

<sup>5</sup> Ibid, p, 1

<sup>6</sup> YAGNENTKOVSKY, Nadia. Aplicación de técnicas de biorremediación para el tratamiento de residuos industriales con alto contenido de metales pesados. La Plata, 2011, 10p. Trabajo de tesis doctoral. Universidad Nacional De La Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Departamento de Química.

equipamiento que el usado en cualquier explotación agraria convencional, desde un arado con tiro animal a un sofisticado tractor. La mezcla y arado de suelos con hidrocarburos y pesticidas para aumentar su oxigenación, estimula la flora microbiana que acelerará, con la ayuda de la cosecha elegida, la degradación de componentes tóxicos para el medio ambiente. Cuanto mayor el peso molecular de un suelo mixto (cuanto más elevada la concentración de hidrocarburos), mayor lentitud en el proceso de degradación. Los compuestos más clorados y nitrados son más difíciles y lentos de biodegradar mediante el cultivo de tierras.<sup>7</sup>

### **1.2.6 Biorreactor**

Los biorreactores son sistemas de descomposición biológica más complejos que un compostador casero, aplicados a escala industrial. En sentido estricto, son meros recipientes que mantienen un ambiente biológicamente activo, como un compostador doméstico o una cuba en la que fermenta un vino o un licor. Su interior ha sido diseñado para facilitar y aumentar el efecto de procesos químicos generados por microorganismos en contacto con sustancias químicas, a través de procesos aeróbicos (ecosistemas controlados en los que el oxígeno está presente) o anaeróbicos (sin oxígeno). Su diseño suele ser cilíndrico y de acero inoxidable con tamaños que varían desde apenas unos mililitros a varios metros cúbicos. Son utilizados para convertir aguas negras y grises o purines de explotaciones agropecuarias en fertilizante biológico.<sup>8</sup>

### **1.2.7 Rizofiltración**

Una modalidad específica de fitorremediación (biorremediación usando plantas), la rizofiltración se sirve del filtrado de agua a través de raíces para eliminar

---

<sup>7</sup> Ibid, p. 1

<sup>8</sup> Ibid p. 1

sustancias tóxicas o exceso de nutrientes. A diferencia de otras técnicas de fitorremediación, la rizofiltración emplea plantas cultivadas hidropónicamente (sin tierra, sólo con un suero enriquecido que incorpora todos los nutrientes necesarios para la planta), para absorber con sus raíces la toxicidad concentrada en el agua. El agua contaminada se dispone en piscinas o estanques, o también se aplica como riego. En función del problema medioambiental que tratar, el cultivo hidropónico es trasladado a un emplazamiento contaminado, o bien el agua tóxica es transportada a un lugar de cultivo y tratamiento centralizado. Los científicos destacan el potencial de esta técnica para regenerar aguas residuales y suelo contaminado.<sup>9</sup>

### **1.2.8 Bioestimulación**

La bioestimulación modifica el entorno para estimular las bacterias "biorremediadoras" existentes en el medio -aquellas con capacidad para restaurar un entorno con elevada toxicidad-. Se emplean distintas técnicas para modificar el entorno que restaurar, entre ellos la inyección de nutrientes que estimulan el crecimiento de los microorganismos responsables de la restauración; o también técnicas de bioaumentación (inocular cepas microbianas genéticamente modificadas y con mayor capacidad para restaurar entornos con alta concentración tóxica). Es un método conocido y efectivo para tratar aguas y subsuelo que han padecido vertidos de hidrocarburos.<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> Ibid, p. 1

<sup>10</sup> Ibid, p.1

### **1.2.9 Landfarming**

Landfarming esta metodología de tratamiento de suelo contaminado si bien se realiza dentro del predio donde se encuentra la contaminación, es una técnica ex situ, ya que se debe realizar la remoción del suelo contaminado para su adecuación al tratamiento.

El Landfarming es un proceso donde se utilizan las bacterias para degradar los componentes de petróleo que ocurren en el suelo, la bacteria degrada el componente orgánico, produciendo dióxido de carbono y agua. Para el desarrollo eficiente de este proceso es necesario proveer las condiciones óptimas para el crecimiento de la población bacteriana. Esta metodología de tratamiento está especialmente recomendada para productos semivolátiles a pesados y en predios donde existen suelos arcillosos (en el caso de no existir suelos arcillosos, se dispondrá de una impermeabilización artificial para evitar toda posibilidad de percolación de lixiviados).

El landfarming constituye en un método simultáneo de tratamiento y disposición final, donde el residuo es mezclado con la superficie del suelo para ser degradado o transformado mediante un adecuado manejo. Comparado con otros tratamientos de disposición final como el Land Fill, el landfarming es un método de monitoreo rápido, bajo mantenimiento y alto potencial de degradación.

El landfarming utiliza la superficie del suelo para descomponer los residuos aeróbicamente. Como la superficie del suelo se aísla de las aguas subterráneas por capas impermeables, es un método seguro en cuanto a las probabilidades de contaminar las napas freáticas. El manejo de un Landfarming implica la investigación preliminar del residuo, el control del sitio de degradación, su actividad biológica, el clima, actividad de laboratorio, etc. La velocidad de

degradación depende de la disponibilidad de nutrientes, ausencia de sustancias biotóxicas y de otros parámetros como: salinidad, capacidad de intercambio iónico, pH, textura, aireación, capacidad de retención de humedad, drenaje interno y temperatura.

El suelo debe reunir condiciones que favorezcan la actividad biológica tales como buena porosidad, humedad óptima, presencia de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, etc.) con buena aireación y temperaturas medias. El manejo de un Landfarming implica la investigación preliminar del residuo, el control del sitio de degradación, su actividad biológica, el clima, actividad de laboratorio, etc.

En un landfarming las cepas bacterianas que se aplican al suelo dependen del residuo que se esté tratando. El área de tratamiento se debe dividir en zonas para residuos con hidrocarburos y zonas para residuos sin hidrocarburos, dado que el cultivo bacteriano es específico para cada uno y los índices de rotación son distintos. La combinación de cepas puede degradar sustancias tales como hidrocarburos, ésteres grasos, éteres, celulosa, proteínas y otras sustancias, transformándolas en agua, dióxido de carbono y biomasa con su posterior transformación en humus.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> CANASA, Adrian, Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana, Lima, 2010, 55p. trabajo de tesis pregrado (Ingeniero de Petróleos), Universidad nacional de ingeniería, facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica.

### **1.3 Componente Económico y Financiero**

El apartado que se desarrolla a continuación presenta algunos aspectos relacionados con temas gerenciales de que trata el desarrollo del presente trabajo.

#### **1.3.1 Ingeniería Económica**

Dentro de conceptos necesarios para el desarrollo de este estudio se hace necesario manejar la ingeniería económica puesto que dentro de este se manejó concepto como valor presente neto (VPN), el valor presente neto de un proyecto de inversión no es otra cosa que la diferencia en dineros de hoy de los dineros invertidos y recibidos en este, o expresando esta idea de otra manera, es el equivalente en pesos actuales de la diferencia entre todos los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen el proyecto<sup>12</sup>, de esta manera pudimos evaluar el VPN del proyecto y determinar si era rentable o no lo era.

También se evaluó la (TIR) o tasas interna de retorno este concepto ayuda a evaluar el interés que gana los dineros que permanecen invertidos en el proyecto y así evaluar cuán rentable será el proyecto.

Debemos tener en cuenta durante el estudio concepto que llevarán a tener una visión más clara como por ejemplo: inversión de capital, capital de trabajo, ingresos, gastos de producción, gastos de transporte, costos financieros, depreciación, amortización, impuestos y tasa de oportunidad.

Teniendo claro cada uno de estos conceptos se pudo hacer el análisis económico y financiero dando un mejor panorama al momento de tomar la decisión de iniciar el proyecto.

---

<sup>12</sup> Vanegas Angarita Oscar, modulo ingeniería económica, Julio 2014, Bogotá.

### **1.3.2 Gerencia Del Talento Humano**

Dentro del proyecto el recurso humano es de gran importancia si no es el de mayor valor, así que es necesario llevar al personal a tener la mejor disposición para trabajar y dar sus mejores aportes al desarrollo del proyecto, deberán tener una estrategia clara, compromiso con la calidad y con la excelencia de servicio.

Contar con una estructura organizacional plana u horizontal de pocos niveles jerárquicos, que sea orientada hacia procesos y no aisladas, tendrán una visión orientada hacia el futuro y hacia el destino de la empresa y las personas.

El talento humano será una solución para el proyecto, se harán un debido proceso de selección aplicando test de personalidad, de aptitudes, de inteligencia y entrevistas todo esto para conformar el mejor equipo de trabajo que lleven a un mejor nivel el proyecto.

### **1.3.3 Responsabilidad Empresarial**

Se tendrá una organización con responsabilidad por el impacto de sus decisiones y actividades sobre la sociedad y el medio ambiente.

Donde tengan criterios de responsabilidad internacional como: económicos, ambientales y sociales.

Se tendrán en cuenta principios de pacto mundial como: trabajar en contra de la corrupción en todas sus formas, incluyendo la extorsión y el soborno, eliminación

de toda clase de discriminación laboral, eliminación de toda forma de trabajo forzado.

Todas estas cosas son para lograr un desarrollo competitivo, a través de la armonía interrelación con su medio social, teniendo principios empresariales y obteniendo beneficios tanto económicos como sociales con el menor impacto ambiental.

## **2. DISEÑO DE LA PLANTA**

El tipo de planta que se propone a diseñar es una planta de Landfarming, se eligió este tipo de planta, por ser de los más usados en el mercado de la biorremediación, por su facilidad para realizar el tratamiento de los residuos contaminados.

### **2.1 Tipos De Contaminante Y Caracterización**

En la planta se podrán recibir dos tipos de residuos contaminados, sólidos y líquidos, las (arenas) producto de los trabajos realizados en Workover luego de una limpieza de pozo, o residuos producto de una limpieza de algún área afectada por derrame de hidrocarburos, también se recibirán los fluidos líquidos provenientes de trabajos de estimulación, Workover, swabing y flushing de tuberías, aguas aceitosas de contrapozos.

A los fluidos líquidos deberán realizar una caracterización fisicoquímica donde determinaran parámetros como: pH, Dureza Cálcica, Dureza Total, Dureza Magnésica, Sulfato, Fosfato, Bario, Hierros totales.

Esto para determinar en qué condiciones ingresa a la planta y poder determinar el tipo de tratamiento que se debe realizar para poder hacer la biorremediación.

### **2.2 Etapas De La Planta Depuradora De Aguas**

#### **2.2.1 Pre-tratamiento**

En esta sección las aguas recibidas se pasaran por una zaranda donde se decantaran las partículas de mayor tamaño, luego por acción mecánica serán

retiradas de la zaranda, en este mismo se realizara el desengrasado donde se retirara la mayor cantidad de hidrocarburos que están contenidos en el agua, posteriormente la neutralización de fluidos, algunos de los fluidos llegaran con pH ácidos o básicos así que tendrán que realizar la adición de agentes químicos para llegar a un pH neutro y posteriormente el desarenado por acción de su peso esta arena viajara al fondo y de acá pasaran a un digestor de lodos.

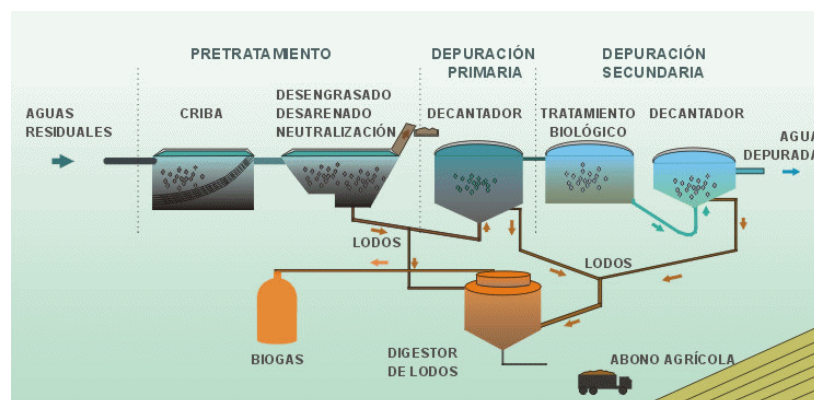
### 2.2.2 Depuración Primaria

Por efecto de tiempo de residencia y de gravedad la arena que logra llegar a esta sección se dispondrá al digestor de lodos, lo ideal es en este sitio es tratar de dejar el agua con la menor cantidad de grasas y aceites.

### 2.2.3 Depuración Secundaria

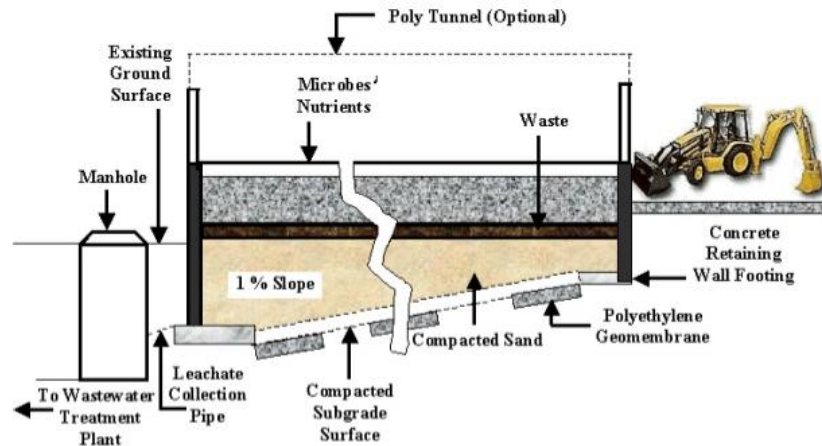
En este punto es donde se hará el tratamiento de biorremediación bilógico y es acá donde se usa las diferentes técnicas que usan bacterias para realizar la biorremediación y así hacer que las aguas sean más amigables al medio ambiente, luego que las aguas están depuradas y tratadas se dispondrán para riego de carreteras de herradura y de ser posible realizar algún tipo de riego de cultivos en la región

Figura 1 Diseño posible de una planta depuradora de aguas



Fuente: [http://g9abg4b.blogspot.com.co/2013\\_06\\_01\\_archive.html](http://g9abg4b.blogspot.com.co/2013_06_01_archive.html)

Figura 2. Diseño de locación para Landfarming



Fuente: <http://es.slideshare.net/machadobervel/biolabranza>

Todos los lodos que salen de la planta depuradora de agua y las arenas contaminadas que se reciban serán tratadas con el método de Landfarming que es una tecnología para la remediación de suelos que reduce las concentraciones de hidrocarburos de petróleo por biodegradación, esto implica generalmente el arar los suelos contaminados o removerlos y depositarlos en un área y estimular la actividad micro bacteriana aeróbica dentro de los suelos y a través de la aireación por arado con la adición de nutrientes y de la humedad necesaria, la actividad microbiana da lugar a la degradación por respiración aeróbica de los componentes fijados por adsorción del producto de petróleo.

#### 2.3.4 Beneficios De Una Planta De Biorremediación

La diversidad en los procesos de biorremediación da gran variabilidad y flexibilidad, puede ejecutarse en condiciones aerobias o anaerobias, pueden

emplearse microorganismos típicos del sitio contaminado o incorporar otros, puede realizarse in situ o ex situ. Se tiene como ventaja de los tratamientos ex situ la posibilidad de homogeneizar el suelo, lo que facilita el control de condiciones de proceso y puede permitir unos mejores resultados, se ha usado con éxito biorremediación para tratar suelos, lodos y sedimentos contaminados con hidrocarburos de petróleo, disolventes. La biorremediación, como otras tecnologías de recuperación de suelos y aguas, es un campo de trabajo claramente interdisciplinar, en parte por su complejidad que hace necesarios enfoques diferentes y complementarios: ingenieros de diversas ramas y desarrollo de las operaciones de remediación. Como ventajas de la biorremediación se citan: son más respetuosas con el medio ambiente ya que la intrusión y modificación ambiental es reducida (para algunos la principal ventaja radica en que la calidad del suelo no se ve alterada durante el proceso, no se perjudican ni la estructura ni las características biológicas); son efectivos (los contaminantes son destruidos eficazmente) y eficientes (el coste es comparativamente bajo); permiten tratar la zona saturada del suelo y la insaturada; pueden aplicarse in situ y también a suelo excavado y al agua subterránea bombeada a la superficie; no requiere en general componentes estructurales o mecánicos complejos; pueden combinarse con otras tecnologías en un tren de tratamientos. Las técnicas de biorremediación han conseguido por estas ventajas una muy buena imagen, resultando bien aceptadas por la opinión pública, en contraste con otros procedimientos físico-químicos, lo que se cita también como una ventaja más.<sup>13</sup>

Mientras que los tratamientos físicos y buena parte de los químicos están fundados en arrastrar la contaminación entre medios gaseosos, líquidos y sólidos, en la biorremediación se transfiere poca contaminación de un medio a otro.

---

<sup>13</sup> MULAS FERNANDEZ, Rafael, Fundamentos de Biorremediación, Tratamiento Y Recuperación De Suelos Contaminados.{En Línea}. {15 de octubre de 2015} disponible en ([http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358046/ENTORNO\\_DE\\_CONOCIMIENTO/UNIDAD\\_2/Fundam\\_Biorremediacion.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358046/ENTORNO_DE_CONOCIMIENTO/UNIDAD_2/Fundam_Biorremediacion.pdf))

Es una tecnología poco invasiva y generalmente no requiere componentes que signifiquen una amenaza para el medio ambiente.

### 3. ANALISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

Este capítulo contempla el análisis técnico y financiero para visualizar la factibilidad de la creación de la planta de biorremediación.

Los costos operativos son analizados mediante un modelo financiero realizado con una herramienta de ofimática y la influencia de las variables operativas en la economía y en base a estos, se evalúa la viabilidad de la implementación de la planta de biorremediación.

Se realizó una consulta de costos de servicio en cada empresa donde ellos suministraron la información requerida de los diferentes servicios y por confidencialidad no se suministra el nombre de las mismas, todas las empresas manejan el sistema de planta Landfarming.

Las cantidades que suministraron son datos de operaciones mensuales en las que cada una de ellas realiza labores y operaciones para diferentes operadoras.

*Tabla 1. Precios de tratamientos en el mercado*

EMPRESA	Bbl	Kg	CANTIDAD PROMEDIO MENSUAL (Bbl)	CANTIDAD PROMEDIO MENSUAL (Kg)
	COP	COP		
EMPRESA 1	60000	745	1000	700
EMPRESA 2	73000	780	6500	689
EMPRESA 3	64000	720	4800	710
EMPRESA 4	70000	760	7100	650

Fuente: Autor

### 3.1. Modelo de inversión

A continuación se aprecia el modelo que se realizó para hacer el estudio de este proyecto

En la tabla 2 podemos encontrar los servicios que se prestarán en la planta de biorremediación y las cantidades que se proyectan a trabajar durante los próximos 10 años, las cantidades serán medidas en barriles para los servicios que tienen que ver con fluidos líquidos y en Kilogramos para los servicios de residuos sólidos como arena contaminada.

*Tabla 2. Producción estimada del proyecto*

**Producción:**

Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Servicio	Unidad	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Manejo, tratamiento y disposición final de aguas contaminadas	Bbl		5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Manejo tratamiento y disposición final de residuos (Tierra contaminada)	Kg		685	685	685	685	685	685	685	685	685	685
Manejo, tratamiento y disposición final de borras	Kg		450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
<b>Total</b>		-	<b>6135</b>	<b>6135</b>	<b>6135</b>	<b>6135</b>	<b>6135</b>	<b>6135</b>	<b>6135</b>	<b>6135</b>	<b>6135</b>	<b>6135</b>

Fuente: Autor

Tabla 3. Ingresos estimados del proyecto

Se observa los ingresos que se generaran durante los 10 años en los cuales se realizó la proyección del proyecto por el concepto de venta de servicios.

**Ingresos:**

Servicio	Precio	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Manejo, tratamiento y disposición final de aguas contaminadas	66000		330000000	330000000	330000000	330000000	330000000	330000000	330000000	330000000	330000000	330000000

Manejo tratamiento y disposición final de residuos (Tierra contaminada)	755		517175	517175	517175	517175	517175	517175	517175	517175	517175	517175
	26000		11700000	11700000	11700000	11700000	11700000	11700000	11700000	11700000	11700000	11700000
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>		-	<b>342.217.175</b>	<b>342.217.175</b>	<b>342.217.175</b>	<b>342.217.175</b>	<b>342.217.175</b>	<b>342.217.175</b>	<b>342.217.175</b>	<b>342.217.175</b>	<b>342.217.175</b>	<b>342.217.175</b>

Fuente: Autor

Tabla 4. Costos

Se observa los costos inherentes del proyecto como son personal, arrendamiento, servicios publicos, mantenimientos, consumibles e imprevistos.

Costos:

Servicio	Precio	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Personal			15.379.320	15.379.320	15.379.320	15.379.320	15.379.320	15.379.320	15.379.320	15.379.320	15.379.320	15.379.320

Arrendamiento			20.000.000	20.000.000	20.000.000	20.000.000	20.000.000	20.000.000	20.000.000	20.000.000	20.000.000	20.000.000
Serv. Públicos			9.000.000	9.000.000	9.000.000	9.000.000	9.000.000	9.000.000	9.000.000	9.000.000	9.000.000	9.000.000
Mantenimiento			36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000
Consumibles	5.000		30.675.000	30.675.000	30.675.000	30.675.000	30.675.000	30.675.000	30.675.000	30.675.000	30.675.000	30.675.000
Imprevistos	2%		1.607.586	1.607.586	1.607.586	1.607.586	1.607.586	1.607.586	1.607.586	1.607.586	1.607.586	1.607.586
<b>Total</b>		-	<b>112.661.906</b>	<b>112.661.906</b>	<b>112.661.906</b>	<b>112.661.906</b>	<b>112.661.906</b>	<b>112.661.906</b>	<b>112.661.906</b>	<b>112.661.906</b>	<b>112.661.906</b>	<b>112.661.906</b>

Fuente: Autor

Tabla 5. Gastos

En la tabla de gastos se puede observar los gastos que se requieren durante la elaboración del proyecto como son trámites y licencias, seguros, las depreciaciones

**Gastos:**

Servicio	Pre cio	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tramites y Licencias			200.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000	8.000.000
ICA			3.305.818									

			3.305.818	3.305.818	3.305.818	3.305.818	3.305.818	3.305.818	3.305.818	3.305.818	3.305.818
Otros (Seguros y Papelería)		10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000	10.000.000
Depreciación		7.500.000	7.500.000	7.500.000	7.500.000	7.500.000	7.500.000	7.500.000	7.500.000	7.500.000	7.500.000
<b>Total</b>		-	<b>220.805.818</b>	<b>28.805.818</b>	<b>28.805.818</b>	<b>28.805.818</b>	<b>28.805.818</b>	<b>28.805.818</b>	<b>28.805.818</b>	<b>28.805.818</b>	<b>28.805.818</b>

Fuente: Autor

Tabla 6 No operacional

En esta tabla podemos observar los gastos no operacionales como gastos financieros e ingresos financieros.

**No Operacionales:**

	Precio	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ing. Financieros		-	4.375	100.375	100.375	100.375	100.375	100.375	100.375	100.375	100.375	100.375
Gtos Financieros			2.395.520	2.395.520	2.395.520	2.395.520	2.395.520	2.395.520	2.395.520	2.395.520	2.395.520	2.395.520
<b>Total</b>												

		-	2.399.895	2.495.895	2.495.895	2.495.895	2.495.895	2.495.895	2.495.895	2.495.895	2.495.895	2.495.895
--	--	---	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Fuente: Autor

Tabla 7 Inversiones

En esta tabla se muestran las inversiones que se deberán hacer al inicio y durante los 10 años que se realizó la estimación del proyecto

***Inversiones***

		Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año
Servicio	Pre cio	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Maquinaria		200.000.000										400.000.000

Muebles y Enceres	15.000.000					15.000.000						
Instalación Pre operativos	150.000.000					150.000.000						
	50.000.000	50.000.000	50.000.000			50.000.000	50.000.000					
<b>Total</b>	<b>415.000.000</b>	<b>50.000.000</b>	<b>50.000.000</b>	-	-	<b>215.000.000</b>	<b>50.000.000</b>	-	-	-	<b>400.000.000</b>	

Fuente: Autor

Tabla 8 Resultados del ejercicio

Servicio	Precio	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b><u>Utilidad Bruta</u></b>	-	229.555.269	229.555.269	229.555.269	229.555.269	229.555.269	229.555.269	229.555.269	229.555.269	229.555.269	229.555.269	229.555.269
<b><u>Utilidad Operacional</u></b>	-	8.749.451	200.749.451	200.749.451	200.749.451	200.749.451	200.749.451	200.749.451	200.749.451	200.749.451	200.749.451	200.749.451
<b><u>Utilidad Antes Impto.</u></b>	-	6.349.556	198.253.556	198.253.556	198.253.556	198.253.556	198.253.556	198.253.556	198.253.556	198.253.556	198.253.556	198.253.556
<b><u>Impuesto de Renta</u></b>	-	1.269.911	39.650.711	39.650.711	39.650.711	39.650.711	39.650.711	39.650.711	39.650.711	39.650.711	39.650.711	39.650.711
<b><u>Resultado del</u></b>												

<b><u>Ejercicio</u></b>	-	5.079.645	158.602.845	158.602.845	158.602.845	158.602.845	158.602.845	158.602.845	158.602.845	158.602.845	158.602.845
<b><u>EBITDA</u></b>	-	12.579.645	166.102.845	166.102.845	166.102.845	166.102.845	166.102.845	166.102.845	166.102.845	166.102.845	166.102.845
<b><u>Flujo de Caja Libre</u></b>	(415.000.000)	(37.420.355)	116.102.845	166.102.845	166.102.845	(48.897.155)	116.102.845	166.102.845	166.102.845	166.102.845	(233.897.155)

Fuente: Autor

Para la evaluación del proyecto, se realizaron estudios que involucran la factibilidad técnica, económica, y financiera, para determinar la viabilidad en el tiempo del proyecto, de forma que los resultados obtenidos permitan tomar una decisión de inversión.

La planta de biorremediación está enfocada en suplir las necesidades de las operadoras de hidrocarburos de esta forma estas serán nuestro mercado directo, sin dejar a un lado la industria automotriz que generan residuos contaminados con hidrocarburos de igual forma las estaciones de servicios que prestan servicios de lavado de frack tank, carros cisternas, y lavado de vehículos en general, estas estaciones generan residuos sólidos y líquidos los cuales podrán ser un potencial de mercado para nuestras plantas de biorremediación.

#### 4. CONCLUSIONES

- ❖ Se estableció el precio promedio de los diferentes servicios prestados en las plantas de biorremediación para ejecutar el modelo económico encontrando un EBITDA positivo durante los 10 años de proyección.
- ❖ Se determinó una TIR del 13,51% que está dentro del rango favorable para el proyecto, generando un grado de confiabilidad al inversionista.
- ❖ Se plasmó una caracterización físico-químico como el pH, Ba<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub>, Fe<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> de los fluidos, para ser tratados en las plantas de biorremediación y de esta manera seleccionar el tipo de tratamiento a aplicar.
- ❖ Se propuso un posible diseño para la planta de biorremediación, fundamentado en el tipo de fluidos que se trataran en la planta .el diseño de la plata está orientada a prestar el servicio de biorremediación de
- ❖ Se identificaron que los posibles clientes para prestar el servicio en las plantas de biorremediación, son los operadores de hidrocarburos y los centros de servicios para vehículos ya que estos generan altos volúmenes de residuos líquidos y sólidos contaminados con hidrocarburos.

## BIBLIOGRAFIA

- ❖ CANASA, ADRIAN, Remediación de suelos contaminados en operaciones de perforación y manejo del petróleo crudo en la selva peruana, Lima 2010, trabajo de tesis pregrado, Universidad nacional de ingeniería facultad de ingeniería de petróleo, gas natural y petroquímica.
- ❖ LOPEZ DE MEZA, J.; QUINTERO, G.; GUEVARA, A.; JAIMES, D.; RIAÑO, S.; GARCIA, J: Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. En NOVA - PUBLICACIÓN CIENTÍFICA, Enero 2006.
- ❖ ÑUESTE CUARTAS DIANA CRISTINA, Biorremediación Para La Degradación De Hidrocarburos Totales Presentes En Los Sedimentos De Una Estación De Servicio De Combustible, Colombia 2012, Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ecotecnología, Universidad Tecnológica De Pereira, Facultad De Ciencias Ambientales.
- ❖ VARELA RODRIGO, BEDOYA ARTURO OLGA LUCIA, Modelo Conceptual De Desarrollo Empresarial Basado En Competencias, Colombia 2006, estudios gerenciales, vol. 22 No 100.
- ❖ Yagnentkovsky, Nadia. Aplicación de técnicas de biorremediación para el tratamiento de residuos industriales con alto contenido de metales pesados. La Plata 2011. Trabajo de tesis doctoral. Universidad Nacional De La Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Departamento de Química.

- ❖ <http://faircompanies.com/news/view/biorremediacion-10-metodos-recuperacion-ecologica/> [fecha de consulta 21/03/15].
- ❖ [http://g9abg4b.blogspot.com.co/2013\\_06\\_01\\_archive.html](http://g9abg4b.blogspot.com.co/2013_06_01_archive.html)
- ❖ <http://es.slideshare.net/machadobervel/biolabranza>.
- ❖ [http://www.unicolmayor.edu.co/invest\\_nova/NOVA/ARTREVIS1\\_5.pdf](http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS1_5.pdf).