

UNIVERSIDAD EAN



ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE PROYECTOS

**VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DEL REUSO DEL AGUA POR
MEDIO DE LA FITORREMEDIACIÓN BASADOS EN LA
METODOLOGÍA PMI.**

LIZBETH NAYIBE GAVIRIA TORRES

SANDRA LORENA SILVA OCAMPO

ENERO DE 2014

UNIVERSIDAD EAN



ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE PROYECTOS

**VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DEL REUSO DEL AGUA POR
MEDIO DE LA FITORREMEDIACIÓN BASADOS EN LA
METODOLOGÍA PMI.**

Presentado por:

Lizbeth Nayibe Gaviria Torres

Sandra Lorena Silva Ocampo

Tutor académico:

Ingeniero José Alejandro Martínez S.

ENERO DE 2014

TABLA DE CONTENIDO

1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
2	JUSTIFICACIÓN	9
3	OBJETIVOS	10
	3.1 GENERAL.....	10
	3.2 ESPECIFICOS.....	10
4	MARCO TEORICO CONCEPTUAL	11
	4.1 MARCO LEGAL.....	14
5	ELEMENTOS QUE PUEDEN AFECTAR EL REUSO DEL AGUA	14
	5.1 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.....	16
	5.2 ANÁLISIS CUALITATIVO.....	19
	5.3 ANÁLISIS CUANTITATIVO.....	24
	5.4 PLAN DE RESPUESTA.....	25
	5.5 SEGUIMIENTO Y CONTROL.....	29
6	VIABILIDAD FINANCIERA DEL REUSO DE AGUA POR FITORREMEDIACIÓN COMPARADA CON EL METODO ACTUAL	29
	6.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	29
	6.2 TASA DE INTERÉS.....	32
	6.3 COSTO DE LOS SISTEMAS.....	33
7	DOCUMENTACION DE PROYECTOS E INVESTIGACION PREVIOS	36
	7.1 IDENTIFICACION DE PROYECTOS E INVESTIGACIONES.....	36
	7.2 SINTESIS DE LA INFORMACION REVISADA.....	54
8	CONCLUSIONES	56
9	RECOMENDACIONES	57
10	BIBLIOGRAFÍA	58

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. NORMATIVIDAD AMBIENTAL.....	14
TABLA 2. LEGISLACIÓN DEL AGUA	14
TABLA 3. IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS.....	19
TABLA 4. ESCALAS DE IMPACTO PARA CUATRO OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	20
TABLA 5. CUADRO RESUMEN GRADO DE RIESGO	21
TABLA 6. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS	23
TABLA 7. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS	24
TABLA 8. PLAN DE RESPUESTAS A LOS RIESGOS PRIORIZADOS	26
TABLA 9. PLAN DE RESPUESTAS RIEGOS DE GRADO MEDIO Y BAJO	28
TABLA 10 PRESUPUESTO DEL SISTEMA.....	31
TABLA 11 DATOS DE CONSUMO.....	34
TABLA 12 CÁLCULOS AHORRO DE AGUA.....	34
TABLA 13: FLUJO DE CAJA SIN SISTEMA DE FITORREMEDIACIÓN.....	35
TABLA 14: PAGOS DE ACUEDUCTO CON SISTEMA DE FITORREMEDIACIÓN	35
TABLA 15 : PRÉSTAMO EN EL BANCO CUOTA FIJA	36
TABLA 16 INCREMENTOS.....	36

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. DESARROLLO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL MUNDO.....	11
ILUSTRACIÓN 2. SISTEMA DE FILTROJARDINERAS.....	12
ILUSTRACIÓN 3. TRAMPA DE GRASAS.....	13
ILUSTRACIÓN 4. BIOFILTRO	13
ILUSTRACIÓN 5. IDENTIFICAR LOS RIESGOS: ENTRADAS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS, Y SALIDAS	16
ILUSTRACIÓN 6. ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE RIESGOS	17
ILUSTRACIÓN 7. REALIZAR EL ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS: ENTRADAS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS, Y SALIDAS.....	19
ILUSTRACIÓN 8. MATRIZ DE PROBABILIDAD E IMPACTO	20
ILUSTRACIÓN 9. REALIZAR EL PLAN DE RESPUESTA A LOS RIESGOS: ENTRADAS, HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS, Y SALIDAS.....	25
ILUSTRACIÓN 10 CORTE ESQUEMÁTICO DE TRAMPA DE GRASA + FILTRO	30
ILUSTRACIÓN 11. CONSUMO PROMEDIO PER CÁPITA - REVISTA OBSERVATORIO AMBIENTAL.....	33
ILUSTRACIÓN 11. ESQUEMA DEL SISTEMA DEL TRATAMIENTO EXPERIMENTAL.....	38
ILUSTRACIÓN 12. PRE-ETAPA SEMBRADO DE PLANTAS	38
ILUSTRACIÓN 13. SEGUNDA ETAPA ESTADO DE HUMEDALES A POCAS SEMANAS DE CULMINAR EL PROYECTO	39
ILUSTRACIÓN 14. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE LOS SISTEMAS EN TODAS LAS ETAPAS.....	39
ILUSTRACIÓN 15. GRÁFICAS DE CONCENTRACIÓN EN CARGA Y PORCENTAJES DE REMOCIÓN.....	44
ILUSTRACIÓN 16. GRÁFICAS DE CONCENTRACIÓN EN CARGA Y PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE METALES.....	45
ILUSTRACIÓN 17. GRÁFICAS DE CONCENTRACIÓN DE METALES EN PPM	46
ILUSTRACIÓN 18. GRÁFICAS DE CONCENTRACIÓN EN PPM	46
ILUSTRACIÓN 19. UNIDADES DEL SISTEMA PILOTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....	49
ILUSTRACIÓN 20. AGUA DE SALIDA DE LOS SUBSISTEMAS. DE IZQUIERDA A DERECHA:	49
ILUSTRACIÓN 21. ESQUEMA DE TRATAMIENTO	52
ILUSTRACIÓN 22. UNIDADES PLANTADAS	52
ILUSTRACIÓN 23. UNIDADES EXPERIMENTALES SEGUNDA FASE.....	53

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos en Colombia se ha visto un uso desmedido e irracional del agua potable en algunos lugares del país, y en otros lugares es un recurso escaso debido a la falta de agua o a la contaminación de la misma.

El agua es indispensable para cualquier actividad sea industrial, la agrícola y la urbana ya que ellas promueven el desarrollo económico y social.

Con el propósito de alcanzar un manejo sustentable del recurso futuro, es necesario que todos los ciudadanos conozcan la situación real del agua y participen en las instituciones gubernamentales en la toma de decisiones para el manejo responsable del agua.

El uso de agua potable es uno de los derechos que se debe garantizar a toda la población así como su saneamiento, pues esto garantizará una batalla contra las enfermedades.

En Colombia el manejo de aguas residuales se ha convertido en una gran problemática, este se agudiza si se tiene en cuenta que solo el 31 por ciento de las ciudades colombianas cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales el cual, en una proporción del 29 por ciento es primario según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Acodal) Es decir, que sólo se hace una remoción de los sólidos, Pero no hay procesos de remoción físico-química ó biológica de contaminantes, lo cual claramente puede ser un factor de deterioro en la calidad del agua o un eventual vector de transmisión de enfermedades.

Las aguas residuales se clasifican en grises y negras, las aguas grises provienen de la limpieza de vajilla, ropa, y aseo personal, como de la ducha, baños de inmersión, etc. las aguas negras son un tipo de agua que esta contaminada con sustancias fecales y orina, también se les llama aguas servidas.¹

A primera vista las aguas grises pueden resultar no aprovechables, sin embargo su reutilización consigue disminuir el gasto en agua potable, así como reducir el vertido de aguas residuales.

Es por esto que se pretende proponer un sistema económico para el manejo de las aguas grises llamado fitorremediación, este sistema representa una tecnología alternativa, sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados.

La fitorremediación consiste en un conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados y compuestos orgánicos por medio de la utilización de plantas.

¹ <http://www.agua-mineral.net/574/aguas-residuales-grises-y-negras/>

Se basa en los procesos que ocurren naturalmente por los cuales las plantas y los microorganismos rizosféricos degradan contaminantes orgánicos e inorgánicos.

De esta manera podemos garantizar una reutilización de aproximadamente el 70% del agua que ingresa al filtro² o sea la consumida en la cocina, lavadero o ducho (aguas grises), haciendo que se disminuyan costos al pagar el servicio de agua potable, y ayudando al planeta.

1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia no se cuenta con un adecuado manejo de agua potable ni residuales, provocando esto una crisis ambiental y social debido a que los ciudadanos en general piensan que este es un recurso que siempre estará ahí, sin darse cuenta de los impactos negativos que esto está generando en todo el territorio nacional.

Durante el primer encuentro por el agua programado por Isagen en el año 2012, se llegó a la conclusión de que Colombia a pesar de ser uno de los países más ricos en recursos hídricos, no los sabe administrar ni proteger, sabiendo que este se encuentra directamente relacionado con la vida, el desarrollo y la equidad del país.

Sólo 9 países: Brasil, Canadá, China, Colombia, Congo, India, Indonesia, Rusia, Y los estados unidos, representan el 60% de las reservas mundiales de agua dulce. Mientras que en países como medio oriente y África del norte, que albergan el 5% de la población mundial, solo poseen menos del 1% de los recursos hídricos utilizable del mundo. (PNUMA, 2010)

A pesar de ser tan ricos en muchos recursos naturales, se estima un rendimiento hídrico de 63 L/s- km² que supera seis veces el rendimiento promedio mundial 10 L/s- km², y tres veces el rendimiento de Latinoamérica 21 L/s- km²³; es triste saber que no se puede usar por falta de nivel cultural en todo el territorio nacional, porque desde niños se les ha enseñado que esta siempre estaría ahí, sin importar su calidad.

El gasto indiscriminado del agua es un factor que limita la disponibilidad del recurso hídrico a mediano y largo plazo, además que restringe su uso. El aumento en la demanda del agua tiene como consecuencia un incremento en el volumen de los residuos líquidos, cuya descarga, sin

² En

http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BUENFIL%20La%20Jardinera%20que%20Filtra%20las%20Aguas-SPANISH.pdf revisado el 05/01/2014.

³ En https://www.siac.gov.co/contenido/contenido_imprimir.aspx?conID=1348&catID=860#_ftnref1 revisado el 05/01/2014.

una adecuada recolección, evaluación y tratamiento, deteriora la calidad de las aguas y contribuye con los problemas de disponibilidad del recurso hídrico.

Los ríos en Colombia tienen agua de la calidad, pero resulta que después de los vertimientos por parte de la Agricultura, minas e industrias, la calidad varía dependiendo del lugar y la época del año. Sin mencionar aquellos ríos que pasan por poblaciones y que sufren descargas directas de aguas negras.

Se conoce que el tema de contaminación y mal uso del agua es uno de los temas centrales, que en algunos centros se cuenta con el recurso, pero no se puede usar por no tener el saneamiento básico para el consumo o para un uso secundario. Este es un problema cultural, y para solucionarlo necesitamos un cambio también cultural, en donde realicemos nuevas prácticas y de esta manera tengamos un cambio de pensamiento y creemos una nueva cultura con un nuevo paradigma.

El manejo adecuado de las aguas residuales en el largo plazo promoverá la preservación del recurso hídrico y sus ecosistemas. En este sentido, se han identificado discusiones acerca del manejo del agua y la protección del recurso hídrico, pero también se tiene la necesidad de iniciar acciones precisas para el uso sostenible del agua como política para el desarrollo económico sostenible a nivel mundial, como se menciona en Martínez (2012).

En este documento se quiere presentar una posible solución a este problema social y cultural que afecta a toda la población.

Existe un método para tratar las aguas grises, llamado fitorremediación, este consiste en recolectar todas las aguas grises mediante una tubería específica que dirigirá estas aguas a una trampa de grasas, en donde tendrá su primer tratamiento, de allí esta agua pasará a un filtro en donde el agua se purificará en un alto porcentaje mediante un proceso de rizofiltración, y finalmente será almacenada en un tanque de reserva, de donde se podrá tomar esta agua para usos como el riego, la cisterna, y la jardinería.

Este es un método económico que todos pueden ejecutar en su propio jardín.

2 JUSTIFICACIÓN

El ser humano ha contaminado todos los ecosistemas del planeta con una gran variedad de compuestos orgánicos, muchos de ellos de elevada toxicidad. Uno de los inconvenientes es que actualmente en cada vivienda se tiene un consumo apreciable de agua potable, del cual un alto porcentaje está siendo mal utilizado en actividades como el riego de plantas, el lavado de autos, lavado de ropas y el sanitario; si continuamos con ese ritmo, en unos años el agua se abra agotado.

Aunque suene apocalíptico, el mensaje de que el agua es un bien que empieza a escasear no es errado. Y una razón es que hoy hay más gente que requiere este líquido, no solo para consumo en su forma pura y potable, sino para producir alimentos.

Por lo tanto se hace necesario la implementación de programas en los que se desarrollen estrategias y planes de acción que nos permitan llevar un correcto uso del agua, involucrando a la población y concientizándola sobre la problemática que genera el mal uso sus hogares.

Adicionalmente, debemos tratar el tema de la contaminación del y reutilización de aguas mediante tratamientos económicos ya que el mal manejo del agua es una pesada carga para la economía del país. De acuerdo con el estudio Valor económico de la contaminación hídrica, de H. Jaime y citado en el documento Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, del Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Mavdt), "el costo estimado de la contaminación hídrica para los temas de salud, tratamiento de agua para consumo doméstico e industrial, productividad y turismo asciende a un billón de pesos para el año 2005, cifra equivalente a 0,3 por ciento del Producto Interno Bruto nacional".

Actualmente para su descontaminación se utilizan tratamientos físicos, químicos o biológicos, para cumplir con los parámetros de calidad exigidos por el RAS, si bien estos tratamientos son limitados en algunas zonas del país, también se presentan costos muy elevados, en Bogotá, de acuerdo con cifras de la Contraloría Distrital, 230.000 familias están desconectadas porque no tienen con qué pagar la factura del agua. Es por estas razones que se quiere presentar una alternativa que no es nueva a nivel mundial, pero que en nuestro país no es utilizada. Esta estrategia nos servirá para enfrentar la amenaza de escases de agua en el futuro, es una tecnología llamada fitorremediación.

La fitorremediación podría ser definida como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas.

Es una tecnología in situ no destructiva y de bajo costo que utiliza todo el potencial extractivo de algunas plantas para reducir a niveles muy bajos la contaminación ambiental a través de cuatro posibles mecanismos: la fitoextracción o fitoacumulación, la fitoestabilización, la fitovolatilización y la rizofiltración.

Colombia debe tener un cambio cultural y social, debe ser consiente del cambio climático que esta teniendo el mundo, y que este a su vez implica sequias e inundaciones que será mas severas; si tenemos ecosistemas que se encuentran bien gracias a nuestros cuidados, estos a su vez nos protegerán, de lo contrario los impactos también serán negativos para toda la población.

Del buen manejo del agua dependen todos los seres vivientes, y en la actualidad todas aquellas empresas que producen algún producto, es por eso que deben empezar a valor y a entender su dimensión y la importancia de su buen uso.

3 OBJETIVOS

3.1 GENERAL

- Determinar la viabilidad técnica y financiera del reúso del agua por medio de la fitorremediación basados en la metodología PMI.

3.2 ESPECIFICOS

- Identificar los elementos que pueden afectar las condiciones técnicas, financieras y ambientales del reúso del agua por medio de la fitorremediación.
- Analizar la viabilidad financiera del reúso del agua por medio de la fitorremediación en comparación con la(s) alternativa(s) más usada(s) en la actualidad.
- Realizar una documentación a partir de información secundaria basada en proyectos e investigaciones en los que se haya usado fitorremediación previamente.

4 MARCO TEORICO CONCEPTUAL

En la actualidad, la escasez de agua es uno de los desafíos más grande al que se enfrentan muchos países del mundo. Desde 1975, la demanda de agua se ha duplicado con respecto a la tasa de incremento de la población y, aunque no se puede generalizar la escasez hídrica a nivel global, casi 1200 millones de personas (una quinta parte de la población mundial) vive en áreas de escasez física de agua, y 500 millones se aproximan a ella, alrededor de 1600 millones (un cuarto de la población mundial presentan escasez económica de agua debido a que carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde los acuíferos y los ríos.⁴

La escasez de agua no solo corresponde a un fenómeno natural sino que en gran medida es también causado por la acción del ser humano; con rapidez, se produce, se cosecha, y se vacía los pozos para alimentar, vestir, y dar confort al creciente número de seres humanos de este planeta. El agua esta distribuida de forma irregular, de igual manera se desperdicia, se contamina y se gestiona de forma insostenible.

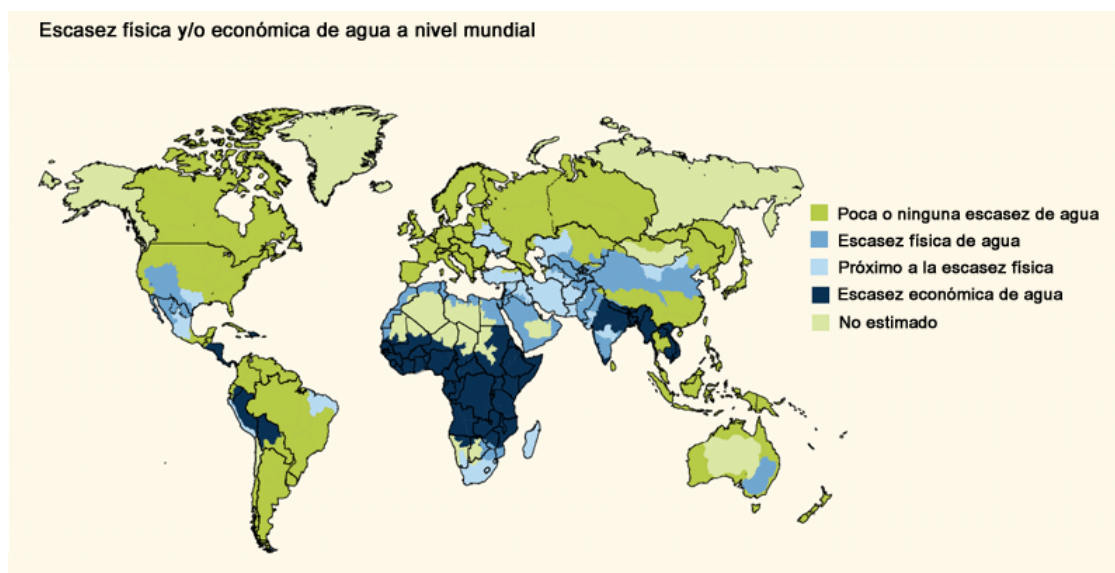


Ilustración 1. Desarrollo de los recursos hídricos en el mundo

Fuente: *Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP), Marzo de 2012.

⁴ En <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>, revisado el 15/12/2013

Paradójicamente aunque el 70% de la superficie terrestre está cubierto por agua, el 97.5% es agua salada y tan solo el 2.5 % es dulce. De este último porcentaje, sólo es consumible el 1%, ya que una mayor parte están en forma de hielo en los casquetes y glaciares polares, otro porcentaje son aguas subterráneas inaccesibles por la profundidad y otro tanto se presenta como agua atmosférica, la que forma parte de los seres vivos y la de constitución de los suelos, quedando un mínimo de 0,007% disponible para el hombre. Esto es una cantidad escasa para toda la humanidad por lo que es necesario conservarla y evitar su contaminación y realizar un manejo sustentable del recurso, disminuyendo así el uso inadecuado del consumo en actividades que no requieren que el agua sea potable.

Las aguas residuales se dividen en dos grupos las aguas negras (proviene del sanitario) y las aguas grises (proviene de lavaplatos, duchas-lavamanos, lavadora); las aguas del segundo grupo contienen comúnmente un alto contenido de productos químicos difíciles de degradar, y que con un tratamiento sencillo pueden ser reutilizadas para el uso del sanitario, riego de zonas verdes, o limpieza.

Reutilizando las aguas residuales estaríamos ahorrando un alto porcentaje de agua por persona, esto se puede lograr mediante un diseño de un sistema de rizofiltración como se observa en la Ilustración 2, lo cual consiste en una trampa que retiene las grasas que provienen principalmente de la cocina. Posteriormente, esta agua pretratada se dirige hacia una jardinera impermeable, donde se han sembrado plantas de pantano, estas plantas se nutren de los detergentes y la materia orgánica mediante el proceso de fitorremediación, evaporando el agua y purificándola, el efecto de este proceso es que se puede llegar a rescatar aproximadamente un 70% del agua.

Empleando este método disminuiríamos el impacto ambiental que genera el alto consumo de agua potable, en actividades que no lo requieren como lo es el uso de un sanitario.

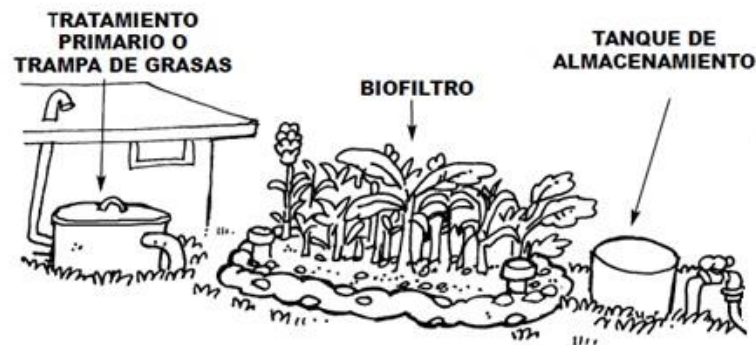


Ilustración 2. Sistema de Filtrojardineras

La ejecución de esta práctica para el tratamiento de aguas grises consta de tres etapas:

- **Tratamiento primario o pretratamiento:** en esta primera etapa se realizara la separación de las grasas y detergentes, estos quedaran en la parte superior de la trampa de grasas mediante la diferencia de pesos específicos, permitiendo que en este tanque la mayor cantidad de sólidos, tanto los flotantes como los mas pesados.

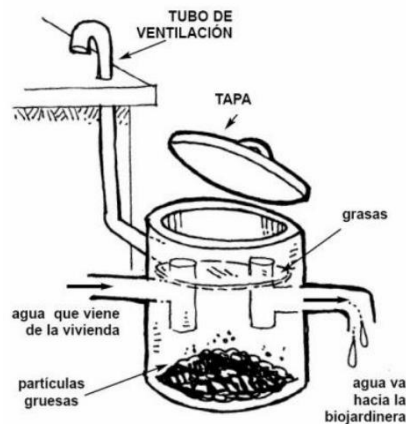


Ilustración 3. Trampa de grasas

- **Tratamiento biológico (biofiltros):** En esta segunda etapa se realiza la depuración de las aguas grises, usando plantas que se alimentan de los nutrientes que contienen este tipo de agua como el nitrógeno y el fosforo, asimismo las raíces de estas plantas degradan los compuestos orgánicos y absorben, precipitan y concentran los metales pesados, a este proceso se le llama rizofiltración, mediante esta técnica es posible reutilizar hasta el 70% del agua que ingresa al filtro y del 30% restante, un tanto es utilizada por las plantas para su crecimiento y otra parte se evapora.

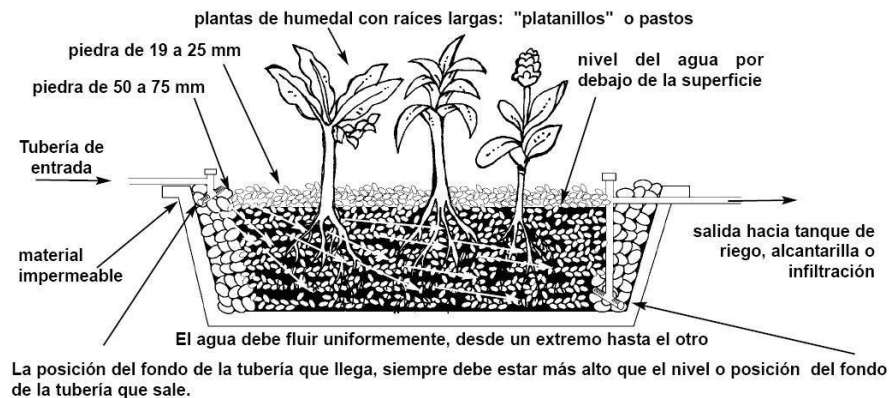


Ilustración 4. Biofiltro

Disposición final de las aguas: En esta última etapa, es donde encontramos las aguas ya tratadas, estas aguas por estar ausentes de una gran parte del material orgánico, por estar claras y sin turbidez permite su reutilización en los sanitarios.

4.1 MARCO LEGAL

La Constitución Política de Colombia de 1991 elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente.

En este aparte se presentan las principales normas constitucionales relacionadas con el manejo y conservación del agua, de acuerdo al proceso que estamos evaluando de fitorremediación.

Norma y principio ambiental contenido en la Constitución Política de Colombia		
Art.	Tema	Contenido
80	Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales	Establece como deber del Estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Tabla 1. Normatividad ambiental

Normatividad sobre el recurso hídrico	
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto 605 de 1996	Reglamenta los procedimientos de potabilización y suministro de agua para consumo humano

Tabla 2. Legislación del agua

5 ELEMENTOS QUE PUEDEN AFECTAR EL REUSO DEL AGUA

Técnicamente la red de distribución de agua reusada debe garantizar la seguridad del servicio y la protección de la salud de los usuarios. Por ello, el diseño de todo sistema de distribución debe responder a ciertos requerimientos que cumplan con un sistema seguro y confiable que pueda prevenir situaciones como el no aseguramiento de la calidad del agua que se le está suministrando al consumidor para lo fines no potables que este requiera, el no aseguramiento

de la independencia de las redes o conexiones accidentales entre la red de agua reutilizada con la red de agua potable, el uso incorrecto de las aguas reutilizadas por parte del consumidor, no disponer de un medio de almacenamiento el cual es esencial para una correcta modulación del caudal del agua reutilizada; todos estos elementos podrían significar una amenaza técnica en la implementación de un sistema de aguas residuales lo que supondría una afectación importante para los implicados en el desarrollo de este tipo de proyectos.

Los elementos que pueden afectar las condiciones financieras en el proyecto de reutilización de aguas residuales son todos los ítems significativos que pueden desfavorecer el proyecto desde el ámbito económico en el que este se desarrolla, es decir, existen diversos métodos de financiación para los proyectos en los cuales se deben tener en cuenta los costos financieros, por otro lado hay que tener en cuenta las constantes variaciones de la tasa representativa del mercado, es decir si no se considera un forward que permita mantener el valor de la tasa constante a través del desarrollo del proyecto o hasta que se adquieran los equipos, el proyecto se puede ver perjudicado por incurrir en costos adicionales que de una u otra manera perjudicarán los estados financieros del mismo.

En cuanto a las condiciones ambientales, estas se pueden ver afectadas por elementos como los impactos relacionados con toxicidad, así como en el uso de energía y las emisiones de efecto invernadero.

Por un lado, la evaluación de riesgo toxicológico en un mal diseño, puede mostrar que los contaminantes en el agua depurada pueden tener un importante impacto toxicológico sobre el suelo, de magnitud similar al provocado por las dosis de pesticidas empleadas durante el cultivo.

Otro elemento con el cual se puede ver afectada la reutilización de las aguas es el surgimiento de malos olores producto de la contaminación adquirida por el primer uso de estas en donde al agua se adhieren elementos como el azufre, el metal de las tuberías, algas y otros organismos y contaminantes ambientales los cuales pueden filtrarse incluso a las conducciones de agua potable y dar mal olor al agua, los más comunes son policlorobifenilos y metales pesados como el mercurio, plomo o arsénico.

Existen varias metodologías que abordan la gestión de riesgos, a continuación realizamos la gestión integral de Riesgos del proyecto de fitorremediación basándonos en el Capítulo 11 de PMBOK:

“La Gestión de los Riesgos del Proyecto incluye los procesos relacionados con llevar a cabo la planificación de la gestión, la identificación, el análisis, la gestión, la planificación de respuesta a los riesgos, así como su seguimiento y control en un proyecto.

Los riesgos del proyecto tienen su origen en la incertidumbre que está presente en todos los proyectos, los riesgos conocidos son aquellos que han sido identificados y analizados, lo cual hace posible planificar respuestas para tales riesgos”.⁵

“Un riesgo en un Proyecto es un evento o condición incierta que, si sucede, tiene un efecto positivo (oportunidad) o negativo (amenaza) en por lo menos uno de los objetivos del proyecto (el alcance, el cronograma, el costo y la calidad).

Un riesgo incluye dos dimensiones claves: incertidumbre (probabilidad) y efecto (impacto). La cadena Causa-Riesgo-Efecto puede ser usada al describir los riesgos para entender cada uno de estos tres elementos.” PMBOK cap 11.

5.1 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

En este proceso determinamos cuáles riesgos pueden afectar el proyecto y se documentan con sus características

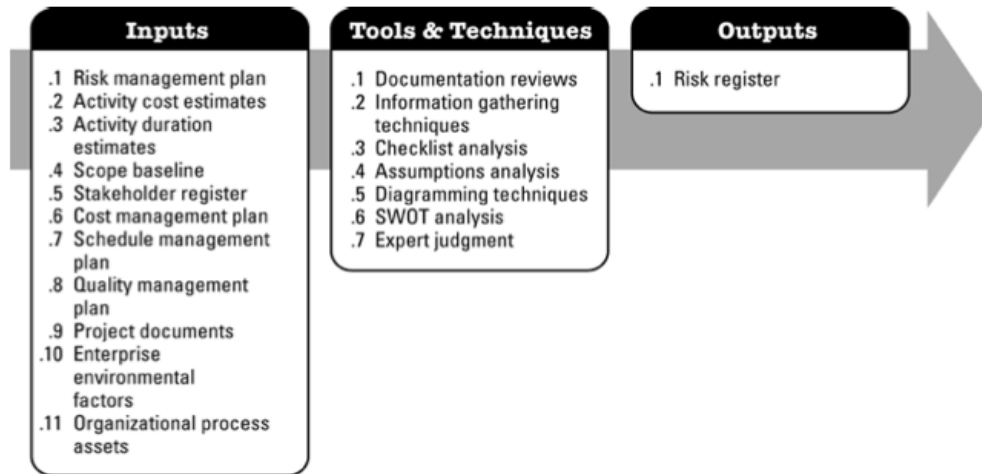


Ilustración 5. Identificar los Riesgos: Entradas, herramientas y técnicas, y salidas

⁵ Guía del PMBOK® Cap. 11 Gestión de Riesgos

En la siguiente Estructura de Desglose de Riesgos (RBS) enumeramos las categorías en las que encontramos que surgieron los riesgos, encontrando cinco riesgos técnicos, tres externos, cuatro organizacionales y dos de la gerencia.



Ilustración 6. Estructura de Desglose de Riesgos

Fuente: Autoría propia

ELEMENTO DE LA RBS	ID DEL RIESGO	RIESGO		
		CAUSA	EVENTO	CONSECUENCIA
Mal uso del agua reciclada	R001	Desconocimiento del sistema	Uso incorrecto del Agua reciclada por parte del consumidor	Contaminación ambiental y/o enfermedades
Selección de plantas no aptas para el biofiltro	R002	Desconocimiento de Plantas adecuadas	La concentración del contaminante no está dentro de los límites tolerables de la planta	Las plantas no podrán disminuir la contaminación del agua
Condiciones meteorológicas adversas	R003	Temporada invernal	Precipitaciones elevadas	El sistema colapsa por la gran cantidad de aguas lluvias captada

Rebose del agua en la jardinera	R004	Aumento del Caudal, por mayor número de personas generadoras	El biofiltro estaba diseñado para un caudal menor	El nivel de agua asciende a la superficie
Malos diseños	R005	No tener la información correcta al diseñar, el biofiltro queda mal dimensionado	El biofiltro queda mal dimensionado, el sistema no cumple con los tiempos de retención, ni con los espacios necesarios.	El sistema no funciona como biofiltro
Filtración de agua	R006	Daños en Equipos	filtración de agua y residuos	Malos olores y contaminación ambiental
Redes hidráulicas no separadas	R007	No se encuentran debidamente separadas las redes hidráulicas	Se pueden mezclar agua lluvia más aguas grises más agua negra.	El sistema estaría subdimensionado, y la eficiencia de la fitorremediación caería radicalmente
Mala operación del sistema	R008	Por falta de comunicación, algún externo puede llegar y realizar una mala conexión al sistema	Se pueden mezclar aguas lluvias con aguas grises más aguas negras.	El sistema no podrá disminuir la contaminación del agua
Asumir gastos no planeados	R009	Presupuesto mal elaborado	Mayores costos	Costo de actividades que no estaban presupuestadas
Presupuesto de riesgo inferior al costo del riesgo	R010	Presupuesto mal elaborado	No se tuvieron en cuenta algunos riesgos del proyecto.	Incremento de costos en los riesgos que no se habían tenido en cuenta

Personal no capacitado	R011	Mala selección en el personal	Trabajos mal ejecutados	Incumplimiento en la calidad
Incumplimiento de normas legales	R012	No conocimiento de las normas	Incumplimiento de la norma	Demandas por parte de la comunidad y/o multas de entes gubernamentales.
Seguimiento y Control	R013	No hay plan de seguimiento efectivo	errores en la ejecución	Actividades mal ejecutadas.
Liquidez	R014	Presupuesto mal elaborado	No aceptación del sistema por parte del usuario	Cierre del proyecto

Tabla 3. Identificación de los Riesgos

5.2 ANÁLISIS CUALITATIVO

Evaluamos las características claves de los riesgos individuales permitiendo priorizarlos para llevar a cabo otros análisis o acciones posteriores, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia y el impacto de dichos riesgos.



Ilustración 7. Realizar el análisis cualitativo de Riesgos: entradas, herramientas y Técnicas, y salidas

	IMPACTO				
	MUY BAJO 0,05	BAJO 0,1	MEDIO 0,2	ALTO 0,4	MUY ALTO 0,8
COSTO	Incremento de Costo insignificante	Incremento de Costo < 10%	Incremento de Costo de 10% a 20%	Incremento de Costo de 20% a 40%	Incremento de Costo > 40%
TIEMPO	Desviación de <i>Schedule</i> insignificante	Desviación de <i>Schedule</i> < 5%	Desviación de <i>Schedule</i> de 5% a 10%	Desviación de <i>Schedule</i> de 10% a 20%	Desviación de <i>Schedule</i> > 20%
ALCANCE	Desviación poco notoria de Alcance	Áreas menores de Alcance afectadas	Principales áreas de Alcance afectadas	Cambio de Alcance inaceptable para el cliente	Producto final del proyecto no es utilizable
CALIDAD	Degradación poco notoria de Calidad	Afectadas solo aplicaciones muy exigentes	La reducción de Calidad requiere aprobación del Cliente	La reducción de Calidad es inaceptable para el Cliente	Producto final del proyecto no es utilizable

Tabla 4. Escalas de impacto para cuatro objetivos del proyecto

Matriz de Probabilidad e Impacto

		IMPACTO AMENAZAS				
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
PROBABILIDAD	MUY ALTA					
	ALTA					
	MEDIA					
	BAJA					
	MUY BAJA					

		IMPACTO AMENAZAS				
		0,05 MUY BAJO	0,10 BAJO	0,20 MEDIO	0,40 ALTO	0,80 MUY ALTO
PROBABILIDAD	0,90 MUY ALTA	0,045	0,090	0,180	0,360	0,720
	0,70 ALTA	0,035	0,070	0,140	0,280	0,560
	0,50 MEDIA	0,025	0,050	0,100	0,200	0,400
	0,30 BAJA	0,015	0,030	0,060	0,120	0,240
	0,10 MUY BAJA	0,005	0,010	0,020	0,040	0,080

Ilustración 8. Matriz de probabilidad e impacto

Basados en la anterior matriz de Impacto (escala relativa) de un objetivo (ejemplo: costo, tiempo, alcance o calidad), calificamos cada riesgo en su probabilidad de ocurrencia e impacto en un objetivo, si ocurre.

Los umbrales para riesgos bajo, moderado o alto se muestran en la matriz y determinan si el riesgo está calificado como alto, moderado o bajo para ese objetivo; obteniendo así que en el sistema del reúso del agua por medio de la fitorremediación se tienen cuatro riesgos con un grado bajo, ocho en grado medio y dos calificados en un grado de riesgo alto.

CUADRO RESUMEN			
ELEMENTO DE LA RBS	ID DEL RIESGO	GRADO DEL RIESGO	CANTIDAD DE RIESGOS POR GRADO
Personal no capacitado	R011	BAJO	4
Incumplimiento de normas legales	RO12		
Seguimiento y Control	RO13		
Liquidez	R014		
Condiciones meteorológicas adversas	R003	MEDIO	8
Rebose del agua en la jardinera	R004		
Malos diseños	R005		
Filtración de agua	R006		
Redes hidráulicas no separadas	R007		
Mala operación del sistema	R008		
Asumir gastos no planeados	R009		
Presupuesto de riesgo inferior al costo del riesgo	R010		
Mal uso del agua reciclada	R001	ALTO	2
Selección de plantas no aptas para el biofiltro	R002		
		TOTAL	14

Tabla 5. Cuadro resumen grado de Riesgo

ELEMEN TO DE LA RBS	ID DEL RIESGO	RIESGO			ANÁLISIS CUALITATIVO							
		CAUSA	EVENTO	CONSECUENCIA	OBJETIVO	PROBABI LIDAD	P	IMPACTO	I	SEVERIDAD	GRADO OBJETIVOS	GRADO DEL RIESGO
Mal uso del agua reciclada	R001	Desconocimiento del sistema	Uso incorrecto del Agua reciclada por parte del consumidor	Contaminación ambiental y/o enfermedades	Alcance	BAJO	0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	ALTO
					Tiempo		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
					Costo		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
					Calidad		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
Selección de plantas no aptas para el biofiltro	R002	Desconocimiento de Plantas adecuadas	La concentración del contaminante no está dentro de los límites tolerables de la planta	Las plantas no podrán disminuir la contaminación del agua	Alcance	BAJO	0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	ALTO
					Tiempo		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
					Costo		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
					Calidad		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
Condicion es meteorológ icas adversas	R003	Temporada invernal	Precipitaciones elevadas	El sistema colapsa por la gran cantidad de aguas lluvias captada	Alcance	BAJO	0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	MEDIO
					Tiempo		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
					Costo		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
					Calidad		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
Rebose del agua en la jardinería	R004	Aumento del Caudal, por mayor número de personas generadoras	El biofiltro estaba diseñado para un caudal menor	El nivel de agua asciende a la superficie	Alcance	BAJO	0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	MEDIO
					Tiempo		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
					Costo		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
					Calidad		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
Malos diseños	R005	No tener la información correcta al diseñar, el biofiltro queda mal dimensionado	El biofiltro queda mal dimensionado, el sistema no cumple con los tiempos de retención, ni con los espacios necesarios.	El sistema no funciona como biofiltro	Alcance	BAJO	0,4	MUY BAJO	0,05	0,02	BAJO	MEDIO
					Tiempo		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
					Costo		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
					Calidad		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
Filtración de agua	R006	Daños en Equipos	filtración de agua y residuos	Malos olores y contaminación ambiental	Alcance	BAJO	0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	MEDIO
					Tiempo		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
					Costo		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
					Calidad		0,4	MUY BAJO	0,05	0,02	BAJO	
Redes hidráulicas no separadas	R007	No se encuentran debidamente separadas las redes hidráulicas	Se pueden mezclar agua lluvia más aguas grises más agua negra.	El sistema estaría subdimensionado, y la eficiencia de la fitorremediación caería radicalmente	Alcance	BAJO	0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	MEDIO
					Tiempo		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
					Costo		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
					Calidad		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
Mala operación del sistema	R008	Por falta de comunicación, algún externo puede llegar y realizar una mala conexión al sistema	Se pueden mezclar aguas lluvias con aguas grises más aguas negras.	El sistema no podrá disminuir la contaminación del agua	Alcance	BAJO	0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	MEDIO
					Tiempo		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
					Costo		0,4	ALTO	0,4	0,16	ALTO	
					Calidad		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	

Asumir gastos no planeados	R009	Presupuesto mal elaborado	Mayores costos	Costo de actividades que no estaban presupuestadas	Alcance	BAJO	0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	MEDIO
					Tiempo		0,4	MUY BAJO	0,05	0,02	BAJO	
					Costo		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
					Calidad		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
Presupuesto de riesgo inferior al costo del riesgo	R010	Presupuesto mal elaborado	No se tuvieron en cuenta algunos riesgos del proyecto.	Incremento de costos en los riesgos que no se habian tenido en cuenta	Alcance	BAJO	0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	MEDIO
					Tiempo		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
					Costo		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
					Calidad		0,4	MUY BAJO	0,05	0,02	BAJO	
Personal no capacitado	R011	Mala selección en el personal	Trabajos mal ejecutados	Incumplimiento en la calidad	Alcance	BAJO	0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	BAJO
					Tiempo		0,4	MUY BAJO	0,05	0,02	BAJO	
					Costo		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
					Calidad		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
Incumplimiento de normas legales	R012	No conocimiento de las normas	Incumplimiento de la norma	Demandas por parte de la comunidad y/o multas de entes gubernamentales.	Alcance	BAJO	0,4	MUY BAJO	0,05	0,02	BAJO	BAJO
					Tiempo		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
					Costo		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
					Calidad		0,4	MUY BAJO	0,05	0,02	BAJO	
Seguimiento y Control	R013	No hay plan de seguimiento efectivo	errores en la ejecución	actividades mal ejecutadas.	Alcance	BAJO	0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	BAJO
					Tiempo		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
					Costo		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
					Calidad		0,4	MUY BAJO	0,05	0,02	BAJO	
Liquidez	R014	Presupuesto mal elaborado	No aceptación del sistema por parte del usuario	Cierre del proyecto	Alcance	BAJO	0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	BAJO
					Tiempo		0,4	BAJO	0,1	0,04	MEDIO	
					Costo		0,4	MEDIO	0,2	0,08	MEDIO	
					Calidad		0,4	MUY BAJO	0,05	0,02	BAJO	

Tabla 6. Análisis cualitativo de Riesgos

Con base en los resultados del análisis, el mal uso del agua reciclada supone el riesgo con mayor grado de impacto junto con la selección de plantas no aptas para el biofiltro; dichos riesgos dependen directamente de factores externos difíciles de controlar en primera instancia pero a la vez presentan una probabilidad de ocurrencia baja que permite inferir la viabilidad técnica que reconoce la correcta implementación del sistema.

Con los dos riesgos que evaluamos con un grado Alto realizaremos un analisis cuantitativo del riesgo y planearemos respuestas necesarias para reducir el riesgo a un nivel tolerable.

Para los demas riesgos calificados en grado medio y bajo consideraremos estrategias de respuesta que no supongan un costo considerable . De igual manera estos riesgos requieren un seguimiento periodico para vigilar el nivel del riesgo.

5.3 ANÁLISIS CUANTITATIVO

En este proceso se analiza numéricamente el efecto combinado de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto.

Este análisis lo aplicamos solo a los riesgos priorizados: al mal uso del agua reciclada, selección de plantas no aptas para el biofiltro y el de condiciones meteorológicas adversas debido a que estos riesgos tienen un posible impacto significativo sobre los objetivos del proyecto.

ELEMENTO DE LA WBS	ID DEL RIESGO	RIESGO			ANÁLISIS CUANTITATIVO					
		CAUSA	EVENTO	CONSECUENCIA	OBJETIVO	PROBABILIDAD	P	GRADO	IMPACTO	V. ESPERADO
Mal uso del agua reciclada	R001	Desconocimiento del sistema	Uso incorrecto del Agua reciclada por parte del consumidor	Contaminación ambiental y/o enfermedades	Tiempo	BAJO	40%	ALTO	3 días	1,20 días
					Costo			ALTO	800.000	\$ 320.000
Selección de plantas no aptas para el biofiltro	R002	Desconocimiento de Plantas adecuadas	La concentración del contaminante no está dentro de los límites tolerables de la planta	Las plantas no podrán disminuir la contaminación del agua	Tiempo	BAJO	40%	ALTO	2 días	0,80 días
					Costo			ALTO	140.000	\$ 56.000
									Tiempo Esperado	2 días
									Costo Esperado	\$ 376.000

Tabla 7. Análisis Cuantitativo de Riesgos

P= Probabilidad de ocurrencia

De acuerdo al análisis cuantitativo de los riesgos priorizados, debemos tener en cuenta que su ocurrencia va directamente ligada con el establecimiento previo de un modelo de costos y un cronograma de actividades holgado en donde se pueda tener desde el inicio el control más asertivo posible que nos permita mitigar en la ejecución del proyecto la ocurrencia de dichos riesgos.

Al evaluar la consecuencia del mal uso del agua reciclada se calcula que este riesgo nos genera un impacto en tiempo de tres días y en costo de \$800.000, al multiplicar estos valores

por la probabilidad de impacto que en ambos riesgos es del 40% obtenemos un valor esperado en tiempo de 1,2 días y en costo de \$320.000 y para el riesgo de selección de plantas no aptas para el biofiltro se evalúa un impacto en tiempo de dos días y en costo de \$140.000 que al multiplicarlo por la probabilidad de impacto genera un valor esperado en tiempo de dos días y en costo de \$140.000.

El análisis cuantitativo de los riesgos nos indica que debemos esperar 2 días de retraso y \$376000 en costos asociados con una probabilidad de ocurrencia del 40%.

5.4 PLAN DE RESPUESTA

Se determinan las estrategias de acción y reacción apropiadas para cada riesgo individual.



Ilustración 9. Realizar el plan de respuesta a los Riesgos: entradas, herramientas y Técnicas, y salidas

ELEMENTO DE LA RBS	ID DEL RIESGO	RIESGO			PLAN DE RESPUESTAS	TIPO DE RESPUESTA	PLAN RESPUESTA
		CAUSA	EVENTO	CONSECUENCIA			
Mal uso del agua reciclada	R001	Desconocimiento del sistema	Uso incorrecto del Agua reciclada por parte del consumidor	Contaminación ambiental y/o enfermedades	Capacitaciones y/o manuales de uso sobre el sistema. En el baño junto al sanitario tener un aviso informando sobre el sistema.	Mitigar	0,48 días
							\$ 128.000
Selección de plantas no aptas para el biofiltro	R002	Desconocimiento de Plantas adecuadas	La concentración del contaminante no está dentro de los límites tolerables de la planta	Las plantas no podrán disminuir la contaminación del agua	Tener un amplio conocimiento sobre el tipo de plantas que se adapten a la zona y que funcionen como fitorremediadoras.	Mitigar	0,32 días
							\$ 22.400
						Tiempo Esperado	1 días
						Costo Esperado	\$ 150.400

Tabla 8. Plan de respuestas a los Riesgos priorizados

ELEMENTO DE LA RBS	ID DEL RIESGO	RIESGO			PLAN DE RESPUESTAS
		CAUSA	EVENTO	CONSECUENCIA	
Condiciones meteorológicas adversas	R003	Temporada invernal	Precipitaciones elevadas	El sistema colapsa por la gran cantidad de aguas lluvias captada	Diseñar el sistema de fitorremediación con una máxima capacidad, basándonos en la pluviosidad de la zona. Además construir una estructura que permita al agua que llega por pluviosidad hacer un by pass al sistema, como un rebosadero rumbo hacia un sistemita de contingencia o de respaldo.

ELEMENTO DE LA RBS	ID DEL RIESGO	RIESGO			PLAN DE RESPUESTAS
		CAUSA	EVENTO	CONSECUENCIA	
Rebose del agua en la jardinera	R004	Aumento del Caudal, por mayor número de personas generadoras	El biofiltro estaba diseñado para un caudal menor	El nivel de agua asciende a la superficie	Diseñar el sistema de fitorremediación con una máxima capacidad, se instalará una tubería a 10 cm del borde superior de la jardinera al otro costado de la tubería de entrada que traslade el agua sobrante al sistema de alcantarillado.
Malos diseños	R005	No tener la información correcta al diseñar, el biofiltro queda mal dimensionado	El biofiltro queda mal dimensionado, el sistema no cumple con los tiempos de retención, ni con los espacios necesarios.	El sistema no funciona como biofiltro	Asesoría de expertos.
Filtración de agua	R006	Daños en Equipos	filtración de agua y residuos	Malos olores y contaminación ambiental	Realizar pruebas en las tuberías y solicitar certificados de producto.
Redes hidráulicas no separadas	R007	No se encuentran debidamente separadas las redes hidráulicas	Se pueden mezclar agua lluvia más aguas grises más agua negra.	El sistema estaría subdimensionado, y la eficiencia de la fitorremediación caería radicalmente	Realizar una inspección de las redes hidrosanitarias antes de iniciar la instalación del sistema
Mala operación del sistema	R008	Por falta de comunicación, algún externo puede llegar y realizar una mala conexión al sistema	Se pueden mezclar aguas lluvias con aguas grises más aguas negras.	El sistema no podrá disminuir la contaminación del agua	Realizar un manual de uso y marcar la tubería al instalarla
Asumir gastos no planeados	R009	Presupuesto mal elaborado	Mayores costos	Costo de actividades que no estaban presupuestadas	Revisión del presupuesto, para garantizar que la obra se ejecutara de acuerdo a lo

ELEMENTO DE LA RBS	ID DEL RIESGO	RIESGO			PLAN DE RESPUESTAS
		CAUSA	EVENTO	CONSECUENCIA	
					presupuestado, o actualizarlo si tiene alguna modificación.
Presupuesto de riesgo inferior al costo del riesgo	R010	Presupuesto mal elaborado	No se tuvieron en cuenta algunos riesgos del proyecto.	Incremento de costos en los riesgos que no se habían tenido en cuenta	Revisión de los riesgos por parte de los expertos.
Personal no capacitado	R011	Mala selección en el personal	Trabajos mal ejecutados	Incumplimiento en la calidad	Mejor selección en el personal, capacitaciones constantes.
Incumplimiento de normas legales	R012	No conocimiento de las normas	Incumplimiento de la norma	Demandas por parte de la comunidad y/o multas de entes gubernamentales.	Comunicación interna acerca de las normas vigentes.
Seguimiento y Control	R013	No hay plan de seguimiento efectivo	errores en la ejecución	Actividades mal ejecutadas.	Ejecución del plan de seguimiento y control
Liquidez	R014	Presupuesto mal elaborado	No aceptación del sistema por parte del usuario	Cierre del proyecto	Revisión del presupuesto, para garantizar que la obra se ejecutara de acuerdo a lo presupuestado, o actualizarlo si tiene alguna modificación.

Tabla 9. Plan de respuestas Riesgos de grado medio y bajo

El plan de respuesta asociado a cada uno de los riesgos priorizados en este caso, se basa en mitigar cada uno de ellos de acuerdo a su impacto y valor esperado en el proyecto, empleando técnicas antes durante y después de cada uno de los eventos adversos que nos ayudaran a atenuar los riesgos existentes en el proyecto, estableciendo desde el inicio las características fundamentales para disminuir la intensidad o la gravedad en la ocurrencia de cada uno en el correcto funcionamiento del sistema; con la puesta en marcha de los planes preconcebidos

reduciremos a un porcentaje bastante considerable los efectos causados por los eventos asociados a los riesgos presentados.

5.5 SEGUIMIENTO Y CONTROL

Respecto al seguimiento y control de los riesgos, se tiene un plan estructurado para lograr prevenirlos y corregirlos en el desarrollo del proyecto.

Se considera como base del plan, desarrollar la correcta ejecución de reuniones periódicas, cada semana, en la cual se realizarán evaluaciones de cada uno de los riesgos que se presenten en la fase del proyecto que se esté desarrollando, así como los riesgos que se han ido manifestando en las fases que se han adelantado, asimismo se actualizará el presupuesto de riesgo conforme se identifiquen los mismos, para determinar las acciones preventivas y atenuar los riesgos potenciales o colaborar con que estos no se presenten en futuras fases del proyecto.

En cuanto a las acciones correctivas, éstas se rigen en las herramientas utilizadas tanto para identificar las causales de los riesgos que se presentaron como en tener datos estadísticos para tomar medidas. Entre las herramientas a utilizar se encuentra el diagrama de espina de pescado, Pareto, gráficos de control, diagramas de flujo etc.

6 VIABILIDAD FINANCIERA DEL REUSO DE AGUA POR FITORREMEDIACIÓN COMPARADA CON EL METODO ACTUAL

En esta investigación queremos mostrar que el costo de construir un sistema de fitorremediación se justifica, al ver que después de los 4 primeros años, el sistema ya se ha pagado, y el ahorro a continuación será del 53% anual, por lo que tenemos razones para decidir implementar el sistema, además de los beneficios ambientales que esto traería para el planeta.

6.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

6.1.1 Trampa de grasas

La trampa de grasas es como un registro elevado, con repellado fino interior, de aproximadamente 60cm x 60cm x 60cm, para una familia de 4 a 5 personas. La entrada de

agua gris —de PVC de 2 pulgadas— se hace en la parte superior de la trampa y el tubo de salida se instala a unos 15 cm por debajo de la entrada.

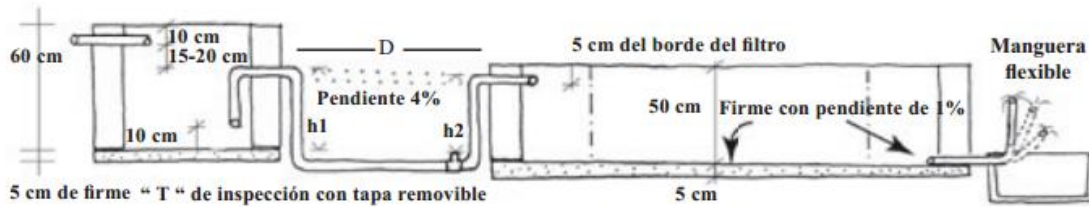


Ilustración 10 Corte esquemático de trampa de grasa + filtro

En el interior de la trampa, el tubo de salida cuenta con un codo y un tubo que llega a 10 cm encima del firme de la trampa ver Ilustración 10. Esta disposición permite que el agua suba lentamente por el tubo de salida y dé tiempo a que se sedimenten los sólidos. Es muy importante tomar en cuenta que la salida de la trampa debe estar lo suficientemente alta para tener una pendiente de por lo menos 4% en el tubo que lleva el agua a la entrada del filtro-jardinera. En caso de que no exista desnivel en el predio, esta pendiente se puede lograr elevando más la trampa.

6.1.1 Filtro

Para una familia de 4 a 5 personas, debe calcularse un metro cúbico de volumen total, con una profundidad interior no mayor a 60 cm. Es recomendable construir el firme con una leve pendiente para garantizar el escurrimiento adecuado del agua.

La entrada del agua pretratada, proveniente de la trampa de grasas, debe quedar en la parte superior de la jardinera, de preferencia a unos 5 cm debajo del borde.

La salida del filtro se coloca sobre un concreto pobre, utilizando un tubo de PVC de 2 pulgadas. El agua se puede dirigir a un tanque de almacenamiento.

Las plantas se pueden sembrar sobre todo el filtro, aunque es más fácil hacerlo en la sección de arena con tierra. Cabe mencionar que es suficiente con sembrar una planta de cada tipo porque después se extenderán a lo largo del filtro.

Las plantas que se utilizan deben ser de preferencia plantas nativas de la región.

A continuación se presenta el presupuesto para la construcción de un sistema de fitorremediación de dimensiones 2 x 1 x 0.5 m con una capacidad de 1 m³ para una familia de 4 a 5 personas:

PRESUPUESTO SISTEMA DE FITORREMEDIACIÓN				
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
INSUMOS				1.259.000,00
Cemento gris	bul	1,00	28.000,00	28.000,00
Mortero	m3	1,00	320.000,00	320.000,00
Tabique	piezas	250,00	2.000,00	500.000,00
Arena	m3	1,00	38.000,00	38.000,00
Tezontle mediano	m3	1,00	15.000,00	15.000,00
Tierra	costal	4,00	20.000,00	80.000,00
Codo PVC 2"	un	5,00	2.000,00	10.000,00
Tapón PVC 2"	un	1,00	1.800,00	1.800,00
T de PVC de 2"	un	1,00	1.800,00	1.800,00
Tubo PVC de 2"	ml	4,00	2.000,00	8.000,00
Tablones de madera de 0.5 x 1 m	un	2,00	8.700,00	17.400,00
Plantas de platano	un	5,00	15.000,00	75.000,00
Pegante para PVC	un	1,00	6.000,00	6.000,00
Acople de PVC de 2"	un	1,00	3.000,00	3.000,00
Tina de plástico	un	1,00	100.000,00	100.000,00
Manguera Flexible de 2"	ml	1,00	5.000,00	5.000,00
Impermeabilizante SIKA 101	lt	1,00	50.000,00	50.000,00
PERSONAL ADMINISTRATIVO				953.040,00
Oficial	mes	0,33	1.672.000,00	551.760,00
Ayudante	mes	0,33	1.216.000,00	401.280,00
COSTO DIRECTO TOTAL				2.212.040,00

Tabla 10 Presupuesto del Sistema

PRESUPUESTO SISTEMA DE FITORREMEDIACIÓN				
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
INSUMOS				1.259.000,00
Cemento gris	bul	1,00	28.000,00	28.000,00
Mortero	m3	1,00	320.000,00	320.000,00
Tabique	piezas	250,00	2.000,00	500.000,00
Arena	m3	1,00	38.000,00	38.000,00
Tezontle mediano	m3	1,00	15.000,00	15.000,00
Tierra	costal	4,00	20.000,00	80.000,00
Codo PVC 2"	un	5,00	2.000,00	10.000,00
Tapón PVC 2"	un	1,00	1.800,00	1.800,00
T de PVC de 2"	un	1,00	1.800,00	1.800,00
Tubo PVC de 2"	ml	4,00	2.000,00	8.000,00
Tablones de madera de 0.5 x 1 m	un	2,00	8.700,00	17.400,00
Plantas de platano	un	5,00	15.000,00	75.000,00
Pegante para PVC	un	1,00	6.000,00	6.000,00
Acople de PVC de 2"	un	1,00	3.000,00	3.000,00
Tina de plástico	un	1,00	100.000,00	100.000,00
Manguera Flexible de 2"	ml	1,00	5.000,00	5.000,00
Impermeabilizante SIKA 101	lt	1,00	50.000,00	50.000,00
PERSONAL ADMINISTRATIVO				953.040,00
Oficial	mes	0,33	1.672.000,00	551.760,00
Ayudante	mes	0,33	1.216.000,00	401.280,00
COSTO DIRECTO TOTAL				2.212.040,00

Según la

Tabla 10, encontramos que el costo de la construcción del filtro jardinera es de \$ 2.212.040 y será ejecutado en 10 días.

Después procedemos a realizar los flujos de caja de cada sistema, para poderlos comparar, pero primero definiremos la tasa de descuento.

6..2 TASA DE INTERÉS

Para esta situación tomaremos una tasa de interés del 16.75% E.A⁶

Esta será empleada para actualizar los flujos de caja y se convierte en la variable más influyente en los resultados de la evaluación, así el resto de variables hayan sido bien proyectadas.

Generalmente la conveniencia de una inversión es medida por todo inversionista a partir de las comparaciones o sensibilizaciones sobre diferentes alternativas que presentan. Es por esta razón que realizaremos el estudio del costo de la implementación de cada uno de los sistemas.

⁶ <http://www.compensar.com/finanzas/tasas.aspx>

6.3 COSTO DE LOS SISTEMAS

Actualmente tenemos un alto consumo de agua en la ciudad de Bogotá, según la revista observatorio ambiental de Bogotá⁷, el consumo per cápita para el año 2012 es de 1.7 m³/mensual. Ver Ilustración 11

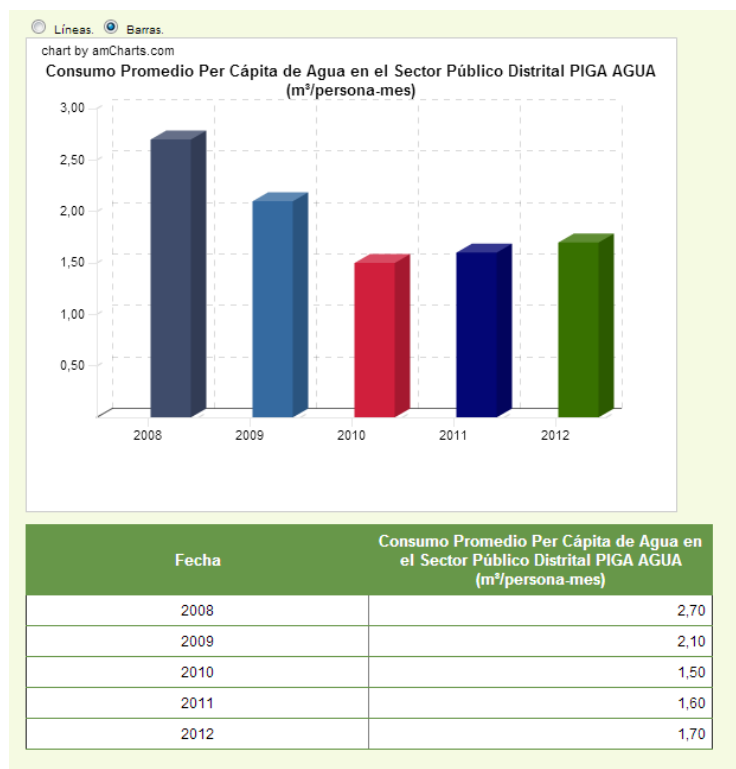


Ilustración 11. Consumo promedio per cápita - revista observatorio ambiental

En Bogotá las tarifas parten de un cargo fijo y un consumo básico, sumándole adicionalmente a esto el consumo no básico, que varía de acuerdo al ritmo de su consumo.

Este sistema tarifario está segmentado según las necesidades de los usuarios y al inmueble donde el servicio es suministrado, bien sea de tipo residencial, comercial o industrial.

Para este caso, tomaremos los consumos y costos ⁸ de un sector residencial estrato 3 como lo muestra la Tabla 11.

⁷ En <http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=l&id=763> revisado el 11/01/2014

⁸ En <http://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/tarifas/TarBog2013.xls> revisado el 05/01/2014

Datos Consumo		
Descripción	Cantidad	Unidad
Consumo per cápita	1,7	m3/persona/mes
costo consumo fijo	\$ 6.065,64	mensual/m3
costo consumo básico	\$ 2.060,38	mensual/m3
costo consumo no básico	\$ 2.423,98	mensual/m3
COSTO CONSUMO B+NB POR M3	\$ 4.484,36	
Nº de personas por familia	5	personas
Consumo por familia	8,5	m3/familia/mes
Costo mensual del acueducto	\$ 44.182,70	Familia

Tabla 11 Datos de Consumo

De acuerdo a la Tabla 11 Datos de Consumo, una familia Colombiana estrato 3, integrada por 5 personas, tiene un consumo mensual promedio de 8.5 m³ de agua, Tabla 11. De los cuales el 65% se convierten en aguas grises⁹ es decir 5,53 m³/familia/mes que al ser multiplicados por el 70% que se puede reutilizar obtendríamos un ahorro en m³ de 3,87, el cual tendría un costo de \$ 23.409 pesos mensuales, que serían un ahorro para la familia como lo muestra la Tabla 12 Cálculos ahorro de agua.

Datos de Ahorro de Agua		
Descripción	Cantidad	Unidad
Porcentaje de aguas grises	65%	Después del uso doméstico
Aguas grises	5,53	m3/familia/mes
Ahorro por reutilización de agua	70%	
Ahorro de agua en m ³	3,87	por familia/mensual
Costo del ahorro-mensual	\$ 23.409	por familia/mensual
Costo del ahorro-anual	\$ 280.907	por familia/Anual

Tabla 12 Cálculos ahorro de agua

⁹ En http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/Agua-Reutilizacion_aguas_grises.pdf revisado el 11/01/2014

Lo que significa que esta familia maneja los siguientes flujos de caja anual, asumiendo un incremento anual durante los próximos 5 años del 3.11% que fue el incremento realizado entre los años 2012 al 2013, según las tarifas de servicios de acueducto y alcantarillado.



Pagos de Acueducto SIN Sistema de fitorremediación						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
FLUJO	530.192	546.098	562.481	579.356	596.736	614.638
VALOR DE SALVAMENTO						
FLUJO NETO	530.192	546.098	562.481	579.356	596.736	614.638

Tabla 13: Flujo de caja sin sistema de fitorremediación

Si una familia construye el sistema de acuerdo a la Tabla 10 Presupuesto y lo implementa obtendrá la

Pagos de Acueducto CON Sistema de fitorremediación						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
FLUJO	249.286	256.764	264.467	272.401	280.573	288.990
VALOR DE SALVAMENTO						
FLUJO NETO	249.286	256.764	264.467	272.401	280.573	288.990

Tabla 14: Pagos de Acueducto CON Sistema de fitorremediación durante proyectada a 5 años, está sólo incluye costos del acueducto, De acuerdo a los cálculos realizados el ahorro será del 33 % anual, gracias al sistema.



Pagos de Acueducto CON Sistema de fitorremediación						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
FLUJO	249.286	256.764	264.467	272.401	280.573	288.990
VALOR DE SALVAMENTO						
FLUJO NETO	249.286	256.764	264.467	272.401	280.573	288.990

Tabla 14: Pagos de Acueducto CON Sistema de fitorremediación

Además del costo del agua del acueducto se debe tener en cuenta las cuotas del préstamo solicitado para construir el sistema. Ver Tabla 15 : Préstamo en el banco cuota fija

De acuerdo a la Tabla 15 El crédito de la familia se terminará de pagar en cuatro años, con una tasa de interés del 16.75% E.A¹⁰

¹⁰ En <http://www.compensar.com/finanzas/tasas.aspx> revisado el 10/01/2014



Préstamo en el banco cuota fija						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
PRESTAMO	2.212.040	1.612.040	1.012.040	412.040		
PAGOS	600.000	600.000	600.000	600.000		
INTERES ANUAL	370516,7	270016,7	169516,7	69016,7		
FLUJO NETO	970.517	870.017	769.517	669.017		0

Tabla 15 : Préstamo en el banco cuota fija

PAGOS ANUALES	1.219.802	1.126.781	1.033.984	941.418	280.573	288.990
%DE INCREMENTO	57%	52%	46%	38%	-113%	-113%
Cuotas mensuales de pago	\$ 101.650	\$ 93.898	\$ 86.165	\$ 78.451	\$ 23.381	\$ 24.083

Tabla 16 Incrementos

Si sumamos los costos anuales de la

Pagos de Acueducto CON Sistema de fitorremediación						
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
FLUJO	249.286	256.764	264.467	272.401	280.573	288.990
VALOR DE SALVAMENTO						
FLUJO NETO	249.286	256.764	264.467	272.401	280.573	288.990

Tabla 14: Pagos de Acueducto CON Sistema de fitorremediación y Tabla 15 : Préstamo en el banco cuota fija encontramos que durante los primeros 4 años, el costo se incrementa en promedio un 48%, pero a partir del quinto año, los costos del acueducto se reducen en un 53%. Haciendo esto que el sistema sea viable financieramente, además de las externalidades que le estamos ahorrando al ambiente y al país.

7 DOCUMENTACION DE PROYECTOS E INVESTIGACION PREVIOS

7.1 IDENTIFICACION DE PROYECTOS E INVESTIGACIONES

7.1.1 EVALUACIÓN DE LA FITORREMEDIACIÓN EN TÉRMINOS DE REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA, TRATANDO AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS ¹¹

¹¹ <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/2260>

7.1.1.1 Descripción del proyecto

Esta investigación fue realizada en la Universidad tecnológica de Pereira y consistió en la instalación de tres humedales ubicados en la Planta de Tratamiento de Aguas de la Universidad, los cuales fueron alimentados con agua residual doméstica, y allí se evaluaron las eficiencias de remoción de carga orgánica y de nitrógeno basadas en las medidas de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Nitrógeno Total (NT), por análisis de Nitritos (N-NO₂), Nitratos (N-NO₃) y Nitrógeno Amoniacal (NH₃).

El método implementado en el proyecto, se estructuró con base en la conducta de los humedales frente a una concentración del hidrocarburo de 1000 mg/L en un agua residual contaminada con Diesel por medio de una dosificación con venoclips, controlando el caudal de entrada

7.1.1.2 Descripción del sistema usado

Los sistemas experimentales fueron construidos el primero con un medio de soporte en grava y plantado con Phragmites australis, el segundo con esta misma especie pero sin medio de soporte y el último se tomó como referencia, sin planta sembrada, solo contenía grava como medio de soporte.

Sobre estos tres humedales artificiales en una primera etapa se hizo circular agua residual proveniente del Campus universitario sin contaminación con hidrocarburos con el fin de evidenciar el desempeño de los sistemas antes del compuesto y en una segunda etapa los sistemas fueron contaminados por medio de la adición de Diesel y así calcular la eficiencia de remoción global del sistema.

Las plantas flotantes que comúnmente se presentan en estos tipos de humedales son typha, Scirpus y Phragmites para el tratamiento de aguas residuales.

Especie	Características
Typha	La Espadaña es ubicua en distribución, robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, se propaga fácilmente, lo que representa una especie de planta ideal para un humedal artificial. Puede producir una biomasa anual grande, una cubierta densa y tiene una relativamente baja penetración en grava.
Scirpus	Las Ciperáceas, son perennes y crecen en grupos. Ubicuas y crecen en diversas aguas interiores y costeras, pantanos salobres y humedales. Su penetración en la grava es moderada y su biomasa depende de la temperatura y el pH.
Phragmites	Los carrizos tienen una buena proporción de biomasa anual, proporcionan una eficaz transferencia de oxígeno, debido a la penetración vertical de sus rizomas. Su fijación a la grava es tenue pero fija. Son las más utilizadas en los humedales por su bajo valor alimenticio y no son atacadas por otros animales o plantas.

7.1.1.3 Diagrama del sistema utilizado

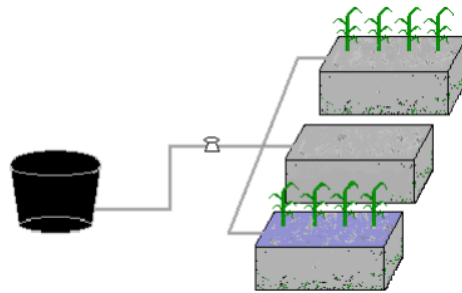


Ilustración 12. Esquema del sistema del tratamiento experimental



Ilustración 13. Pre-etapa sembrado de plantas



Ilustración 14. Segunda etapa estado de humedales a pocas semanas de culminar el proyecto

Cerca de los tres meses de haber sido instalado el sistema incluyendo la canalización del agua residual y manteniendo un flujo aproximado de 90 ml/min, las plantas se reprodujeron y obtuvieron una altura promedio de un metro.

7..1.1.4 *Resultados Importantes*

Remociones									
		DQO		DBO ₅		SST		N Total	
	Promedio	% ER*	Equivale (g/m ² d)	% ER*	Equivale (g/m ² d)	% ER*	Equivale (g/m ² d)	% ER*	Equivale (g/m ² d)
Primera Etapa	H. Plantado	88,02	16,46	93,36	7,03	92,86	8,46	36,99	1,99
	H. Blanco	82,73	15,47	90,17	6,79	94,73	8,63	27,88	1,50
	H. Flotante	78,72	14,72	86,19	6,49	96,49	8,79	45,35	2,44
Segunda Etapa	H. Plantado	95,61	66,93	98,16	29,39	98,91	28,18	24,15	1,28
	H. Blanco	95,35	66,74	97,73	29,26	98,91	28,18	30,57	1,62
	H. Flotante	92,60	64,82	97,66	29,24	97,75	27,85	34,72	1,84
	H. Flotante SC	47,12	7,29	71,18	4,10	-	-	-	-

* ER: Eficiencia de Remoción ** Unidades Gramos/Metros cuadrados x Día
 SC: Sin contaminación

Ilustración 15. Eficiencias de remoción de los sistemas en todas las etapas

Se observan eficiencias de remoción en DQO mayores de 14 g/m² d para los tres sistemas en la primera etapa; mientras que cuando se le adiciona el hidrocarburo en la segunda etapa, se observa eficiencias de remoción todavía aún mayores (64 g/m² d);

Para las eficiencias de remoción de la carga orgánica de cada humedal en términos de DBO₅, se obtuvo remociones superiores del 86% en todos los humedales.

Con la alimentación del agua residual contaminada con el Diesel se obtuvieron remociones mayores a 29,20 g/m² d en la DBO₅ que comparada con la primera etapa (< 7,03 g/m² d) es mucho más alto, corroborando así la misma tendencia de los resultados obtenidos en el parámetro de la DQO.

Tanto en la primera como en la segunda etapa se observa que las eficiencias de remoción en cuanto a SST en los tres sistemas son excelentes, dado que presentan un porcentaje mayor de 92,86%

En cuanto a los resultados obtenidos en la eficiencia de la remoción de Nitrógeno se puede evaluar como baja ya que presentó un porcentaje del 24% y basados en otras experiencias se esperaba remociones entre un 25 - 85% de Nitrógeno.

7.1.1.5 Conclusiones principales del artículo

- Al evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica (DQO, DBO) en cada uno de los sistemas (plantado, blanco y flotante) y al comparar cada uno de éstos en cada etapa del proceso, se determinó que el humedal más eficiente en cuanto a los parámetros mencionados es el humedal plantado, debido a que gran parte de la materia orgánica es retenida por el medio (grava), donde crea un ambiente con las raíces de las plantas y los microorganismos, propicio para la degradación aeróbica y anaeróbica de la carga orgánica. Hay que resaltar que aunque el humedal flotante no disponía de medio, presentó remociones muy altas mientras que el sistema resistió la carga aplicada.
- Se concluye que las eficiencias de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en los sistemas analizados son muy altas en cada etapa, su principal variación se efectúa en la disponibilidad de espacios y en la retención en el sistema. Pero, sus eficiencias superan más del 90% para cada humedal y etapa (mayor a 8 g/m² d para la primera y 27 g/m² d para la segunda).
- Se observó que el humedal blanco presentó eficiencias de remociones de materia orgánica altas, debido a que el medio cumple un papel importante en el sistema al realizar funciones como ser el medio de soporte de los microorganismos, de las plantas en humedales plantados y del mismo modo actúa como medio filtrante para que luego sean degradados por los microorganismos.
- Se puede concluir que los humedales no son muy eficientes en remoción de cargas de nitrógeno, las eficiencias son muy bajas en todos los sistemas y en cada etapa; se

destaca el humedal flotante que fue el de mayor depuración con respecto a los demás en las dos etapas (2,44 g/m² d primera etapa y 1,84 g/m² d segunda etapa). Esto se debe principalmente a la alta interacción entre raíces y las formas de nitrógeno que permite una mejor asimilación de nitratos y amoníaco por las plantas y los microorganismos.

- Se determinó que la adición de hidrocarburos en la segunda etapa del proyecto, si afecta ampliamente la remoción de nitrógeno, debido a que las plantas y los microorganismos son los principales factores que asimilan estos compuestos que contienen nitrógeno; y como se menciono anteriormente sufren un tiempo de adaptación a las nuevas condiciones, disminuyendo las capacidades depuradores del sistema.
- Al evaluar las eficiencias de remociones de cada uno de los parámetros (DQO, DBO, SST y NT), tratando aguas residuales contaminadas con hidrocarburos en los humedales plantado y blanco, se puede concluir que estos sistemas cumplen con lo especificado por los decretos 1594 del 84 y 3930 del 2010 para ser utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

7.1.2 PLANTA PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE ACESCO POR MEDIO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS – LÁMINAS FILTRANTES®¹²

7.1.2.1 Descripción del proyecto

En el año 2007 la empresa Transform Ecoskandia Ltda construye en la planta 1 de Acesco de la ciudad de Barranquilla una planta piloto a través de humedales, la cual llamaron Laminas Filtrantes®

El crecimiento en los procesos productivos hizo necesaria la ampliación del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

El crecimiento en los procesos productivos hizo necesaria la ampliación del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

¹² <https://quayacan.uninorte.edu.co/divisiones/Ingenierias/IDS/upload/File/Memorias%20II-SIIR/7b-Ramos-Colombia-001.pdf>

El proyecto consistía en determinar la eficiencia de un sistema biológico utilizando plantas hidrófitas para tratar las aguas residuales de los procesos de enjuague, desengrase y pasivado de la Línea de Galvanización en Continuo de Acesco.

7.1.2.2 Descripción del sistema usado

El sistema se implementó teniendo como base tres partes, la primera y la segunda funcionan bajo el mismo esquema a través del flujo vertical, y una tercera que utiliza el flujo horizontal para degradar los contaminantes.

En la primera fase el agua entra a un tanque impermeabilizado con geomembrana de polietileno para que esta fluya sin filtrarse. El agua es transportada a la siguiente etapa por medio de una tubería, la cual se cubre con una capa de grava para retener partículas de arena y evitar que pasen a la tubería de distribución, sobre la grava se agrega heno para provocar el crecimiento de bacterias, este relleno termina agregando biomasa (mezcla de arena gruesa lavada, tierra negra, balastro y cascarilla de arroz), seguidamente se ubican unos canales de distribución con orificios en el fondo, a unos 10 cm sobre la biomasa, esto hace que el agua que se va a alimentar se distribuya de una manera uniforme sobre la superficie del lecho, para luego sembrar las plantas (*Phragmites communis*) sobre el relleno.

En la segunda fase, el agua previamente tratada pasa nuevamente por un proceso vertical que funciona de manera similar al primero. Aquí, el agua se encuentra más purificada por el flujo de oxígeno atmosférico que produce la planta con respecto al suelo, brindando un ambiente adecuado para que las bacterias puedan desarrollarse y que gran parte de los sólidos suspendidos sean retenidos entre la arena y las raíces de las plantas.

En la tercera fase, el agua filtrada entra en una etapa de flujo horizontal en la que la velocidad disminuye permitiendo así que los microorganismos tengan mayor tiempo para degradar los contaminantes, removiendo sólidos que no se retuvieron en la fase anterior.

7..1.2.3 *Diagrama o figura del sistema utilizado*

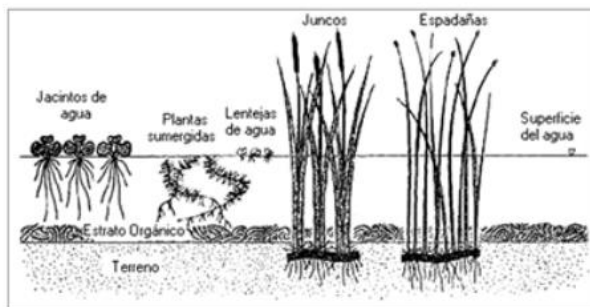


Figura 3. Humedal de flujo superficial

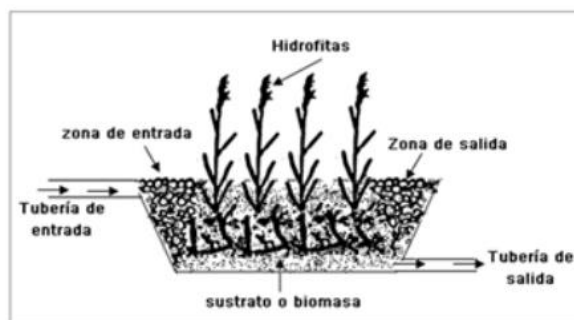


Figura 4. Humedal de flujo subsuperficial

Inicialmente el sistema funcionó con agua potable durante un mes para permitir el crecimiento radicular y el desarrollo de microorganismos en la biomasa. Luego se sometió el sistema a diversos escenarios de funcionamiento como la inclusión de diversos tipos de agua, una de enjuague, otra desengrasante y otra residual de laminación, la planta operó con un caudal constante de 20 litros por hora y la temperatura que oscilaba entre los 37 y 40 °C.

Se le realizó seguimiento a diario al caudal, al pH y a la conductividad en las diferentes fases y se observó el desarrollo de las plantas con los diferentes tipos de agua. Cada 15 días se realizó caracterización completa a través de un laboratorio externo.

7..1.2.4 *Resultados Importantes*

Luego de la implementación del sistema se presentan los resultados basados en los parámetros de pH, DBO5, DQO, grasas y aceites, tenso activos, sólidos totales y metales como Hierro, Zinc, Cromo y Aluminio. En las siguientes ilustraciones se presentan las

gráficas de la carga contaminante (kg/h) en entrada y salida, sobre las gráficas los porcentajes de remoción en carga Y Para el pH se colocan los respectivos valores.

El parámetro Oxígeno disuelto no alcanzó el valor requerido por la autoridad ambiental para vertimiento a cuerpos de agua (>4 mg/l), se deben considerar alternativas para cumplir este aspecto mientras se desarrolla completamente la parte radicular de las plantas.

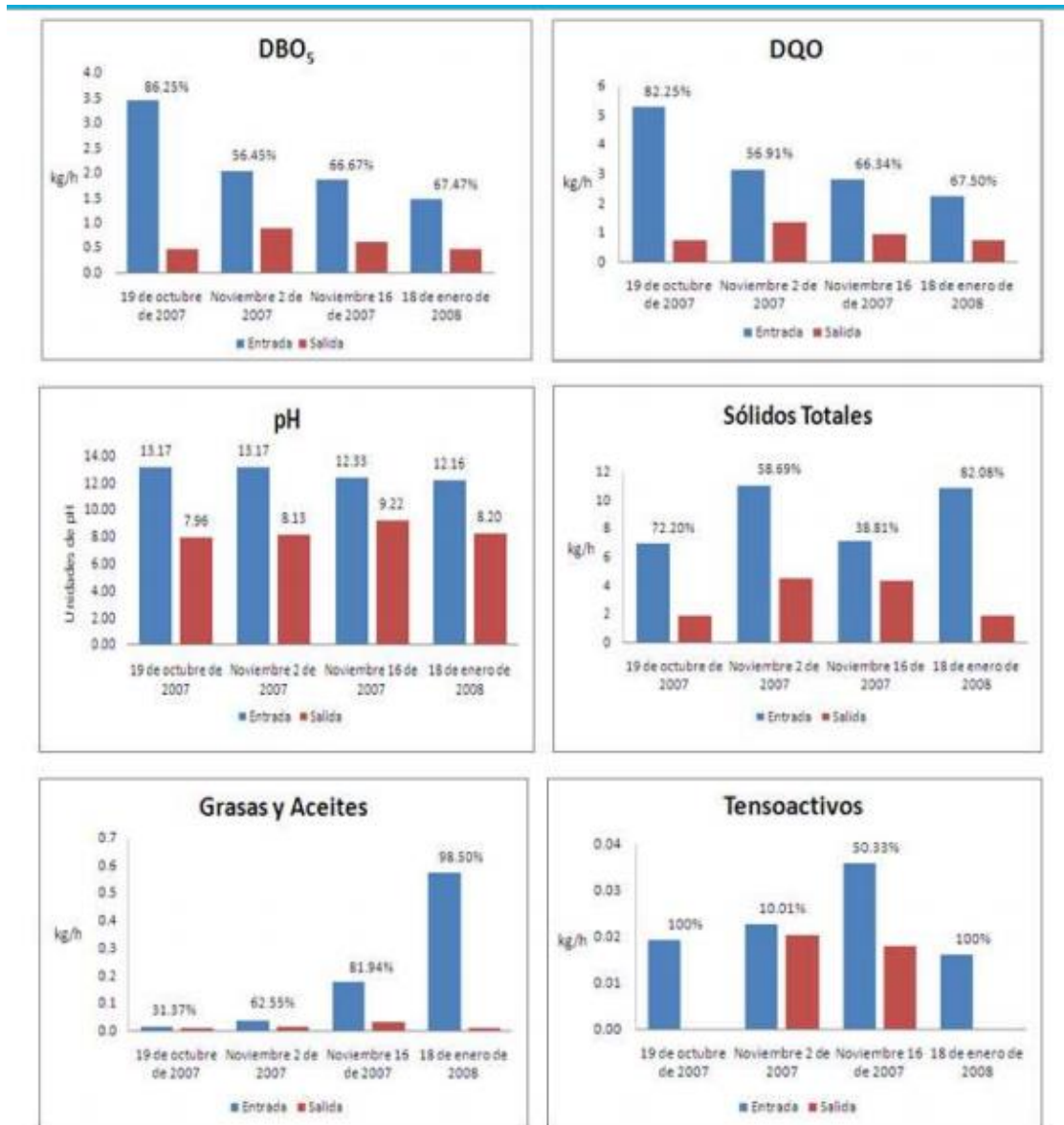


Ilustración 16. Gráficas de concentración en carga y porcentajes de remoción

Fuente: Artículo del proyecto

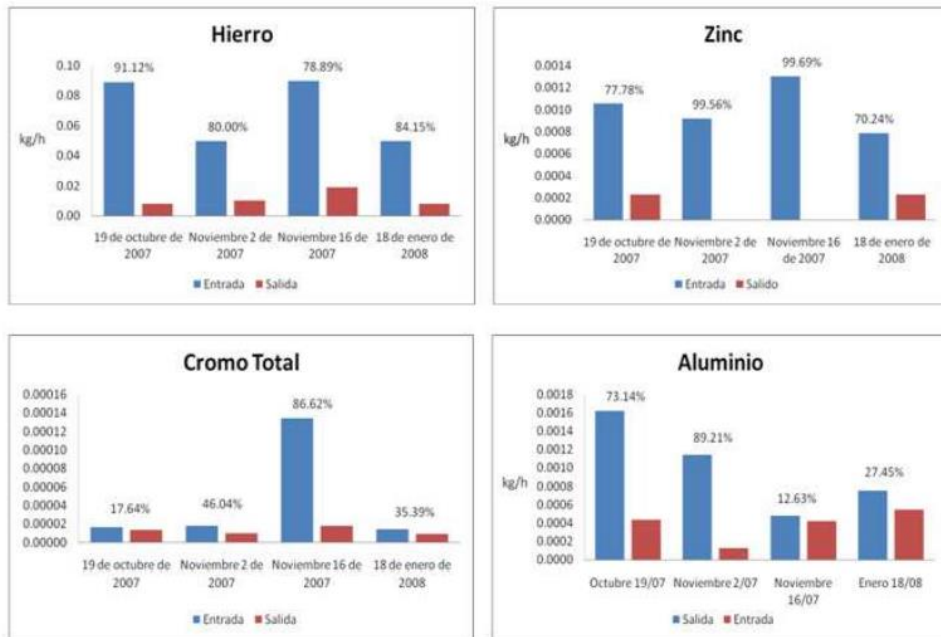


Ilustración 17. Gráficas de concentración en carga y porcentajes de remoción de metales

Fuente: Artículo del proyecto

Con el agua del proceso de laminación los resultados se presentan en las siguiente ilustración, en esta prueba las medidas evaluadas son pH, DBO5, DQO, grasas y aceites, tenso activos, sólidos totales, Hierro y Zinc. Las siguientes graficas presentan las concentraciones de entrada y salida en ppm. Dado que la concentración de contaminantes en esta agua es mucho menor que la de la primera prueba, los resultados no se llevan a concentración en carga pues resultarían cercanos a cero, estas concentraciones en carga resultaron menores que los límites permitidos.

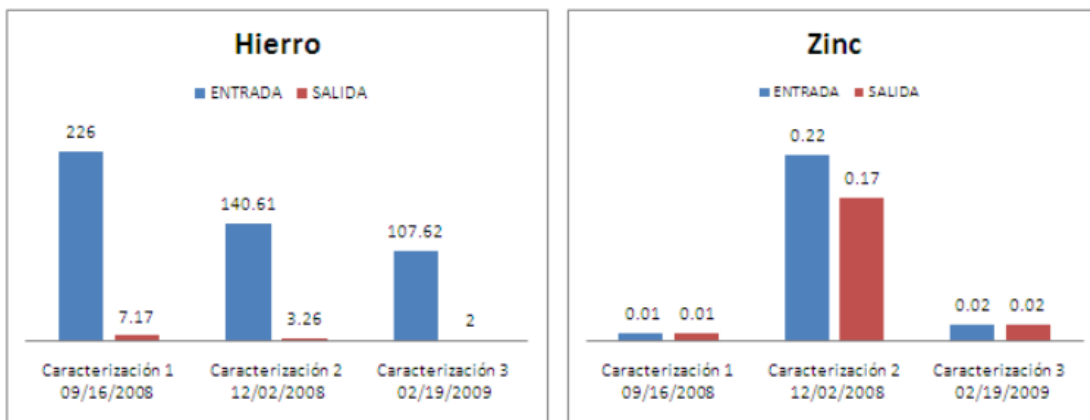


Ilustración 18. Gráficas de concentración de metales en ppm

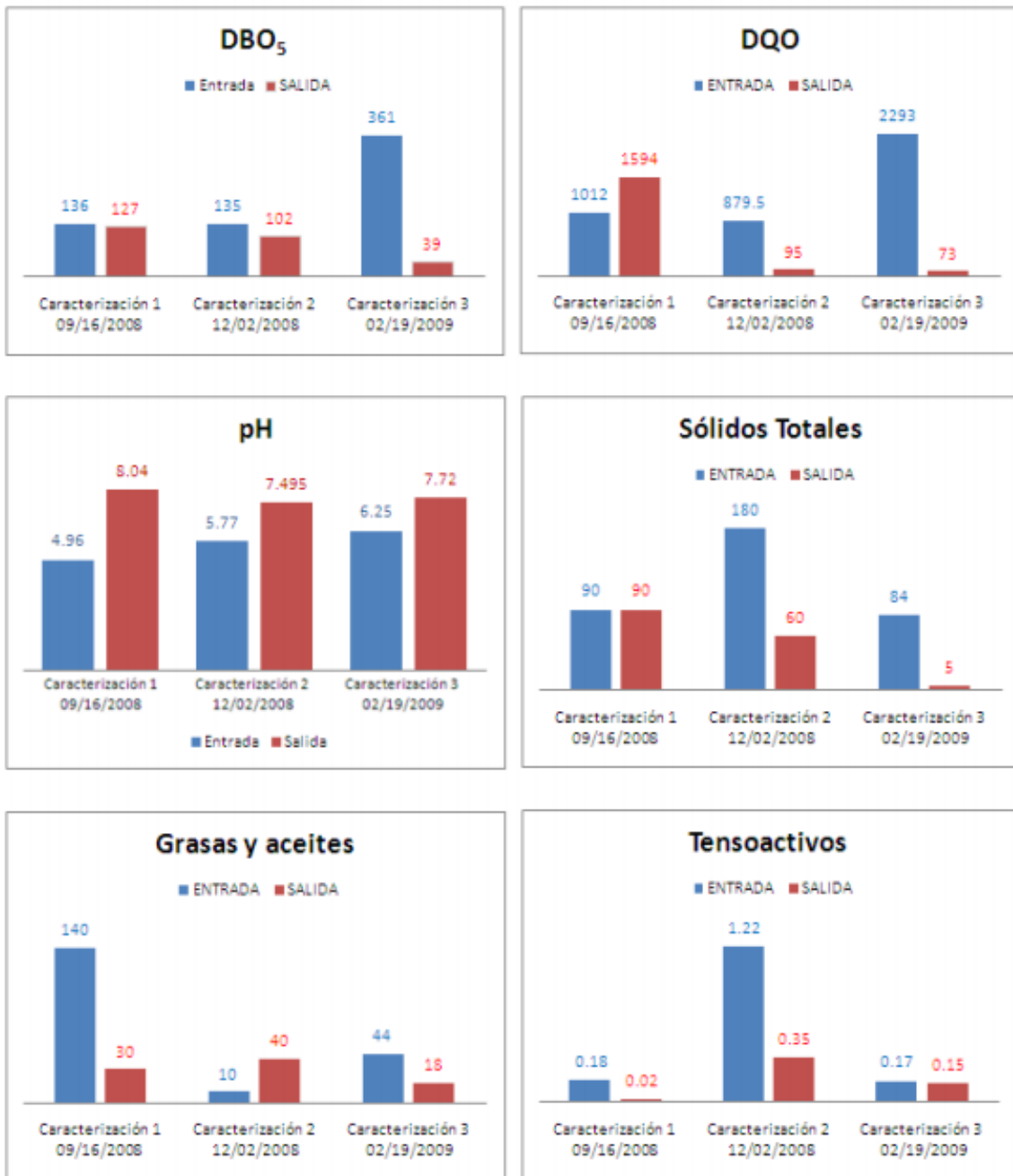


Ilustración 19. Gráficas de concentración en ppm

Fuente: Artículo del proyecto

7.1.2.5 Conclusiones del artículo

La investigación en la Planta Piloto permitió esclarecer las incertidumbres que tenía Acesco a cerca del funcionamiento del sistema biológico de fitorremediación. Los buenos resultados obtenidos en el estudio condujeron a la aprobación del proyecto para el tratamiento de las aguas residuales de galvanización y de pintura, incluyendo dentro de éste, la potabilización del agua tratada, para reutilizar en los procesos productivos. La planta de tratamiento comenzó a construirse a finales del año 2008.

Entre las principales ventajas encontradas en la investigación, se destacan:

- Buena remoción de contaminantes que permitirá cumplir los requisitos ambientales.
- Menor costo de operación comparado con el tratamiento convencional, ya que no requiere insumos químicos para el tratamiento y el requerimiento de energía y equipos es menor.
- Este sistema no genera otros lodos después del tratamiento, como los tratamientos fisicoquímicos, ya que todo el material suspendido queda retenido en el lecho e inmediatamente los microorganismos comienzan la descomposición.
- La apariencia de la planta de tratamiento por humedales construidos crea un paisaje armonioso con el entorno de humedales naturales que tiene Acesco.

La neutralización del pH juega un papel importante en el tratamiento, es clave para la ocurrencia de reacciones de descomposición dentro del sistema, además con un tratamiento convencional se requiere adicionar insumos para neutralizar pH alcalinos o ácidos, la fitorremediación es efectiva para estabilizar este parámetro.

Para obtener el nivel de oxígeno disuelto deseado, se requiere que el material vegetal esté muy maduro y se dé el enraizamiento requerido para mantener alta la concentración de oxígeno en el interior de la planta. Para garantizar la concentración deseada, se utilizará un aireador mecánico al final del proceso mientras el sistema biológico está totalmente desarrollado.

En el caso de bajas concentraciones de contaminantes, el sistema presentó más baja remoción como fue el caso del Aluminio y el Cromo en la segunda prueba, pero en todo caso estaban dentro del límite permitido.

7.1.3 Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas

7.1.3.1 Descripción del proyecto

Se desarrollo el diseño e implementación de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales de la unidad productiva de cerdos del Centro de los Recursos Naturales Renovables La Salada, basado en un piloto de fitorremediación. La intención del proyecto es verificar la capacidad de los humedales para el tratamiento efectivo de las aguas residuales porcinas.

7.1.3.2 Descripción del sistema usado

Se contrastaron los diferentes sistemas de humedales y por sus características se eligió el humedal subsuperficial de flujo horizontal ya que estos humedales poseen mínima presencia de plagas, ausencia de malos olores en la zona de los lechos, facilidad de operación, sus condiciones de modular permite adherir nuevas unidades de acuerdo con las características de las aguas residuales finales, las aguas obtenidas se pueden usar nuevamente.

Durante un mes se recogieron muestras simples (una por cada área de la explotación: ceba, levante, cría y reproducción) para el inicio del proyecto , con las cuales se evaluaron los diferentes parámetros en la explotación, entre los que se encuentran temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, DBO, DQO, sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SS), dureza total, dureza cálcica, acidez, alcalinidad, nitrógeno total, sulfatos, fósforo, zinc, manganeso, potasio, sodio, y una caracterización microbiológica para coliformes, mesófilos y hongos.

Para escoger las plantas y los medios granulares a utilizar en el humedal, se tuvieron en cuenta las especies nativas de la región que estuvieran disponibles y tuvieran compatibilidad con el terreno para facilitar la adaptación y un alto potencial para ser utilizados en el proceso de fitorremediación.

De acuerdo a los ensayos realizados se escogieron tres clases de plantas (Hedychium montana-Brachiaria mutica - Brachiaria arrecta), las cuales se implementaron en la ejecución del piloto. Se instalaron tres unidades con los medios filtrantes seleccionados y su disposición se hizo en canecas con adaptaciones de tubería. En cada unidad piloto había una planta diferente pero los medios filtrantes eran iguales en los tres montajes.

7..1.3.3 *Diagrama del sistema utilizado*



Ilustración 20. Unidades del sistema piloto del humedal artificial

Fuente: Artículo del proyecto

7..1.3.4 *Resultados Importantes*

Después de realizar los análisis al agua de salida de cada uno de los subsistemas del piloto, se obtuvo una significativa remoción:

- En el S1 aproximadamente el 35% de la DBO aplicada es removida
- La remoción de sólidos suspendidos SST en el S1 presenta una tasa superior al 50% y en nitrógeno del 59%
- En los S2 y S3 luego de los procesos de amonificación seguidos de nitrificación microbiana y desnitrificación se alcanza una remoción de nitrógeno superior al 90%.



Ilustración 21. Agua de salida de los subsistemas. De izquierda a derecha: Agua de entrada, agua tras el tratamiento en el sistema S1, agua tras el Tratamiento en el sistema S2 y finalmente agua tras el tratamiento S3.

7.1.3.5 Conclusiones del artículo

- Las plantas que se seleccionan para los humedales artificiales deben estar acordes con el clima y las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas que se van a tratar debido a la presencia de componentes que hacen difícil la sobrevivencia de las plantas y del sistema de filtro biogeoquímico.
- La cascarilla de arroz fue descartada para ser empleada en la unidad piloto como medio granular en tratamientos de agua residual por incidir negativamente en la calidad del efluente, ya que presentó elevados niveles de color (>65 Pt-Co) y olor (característico de agua residual en descomposición anaerobia).
- Los medios filtrantes deben ser inertes y poseer condiciones que no aporten nutrientes, color o cambios en los parámetros fisicoquímicos de las aguas tratadas. Los humedales artificiales demuestran nuevamente ser una excelente alternativa para el tratamiento de aguas residuales producto de las actividades del sector pecuario, las cuales se caracterizan por poseer un alto contenido de materia orgánica.
- Los humedales artificiales al combinar medios filtrantes y diferentes tipos de plantas logran las remociones de DBO5 y SST en las cantidades exigidas por la norma ambiental (mínimo un 80 %) siempre y cuando se realicen las pruebas piloto.
- En las condiciones ambientales de La Salada las plantas seleccionadas dieron los resultados esperados para las aguas residuales de la unidad porcina, lo cual es un indicativo de que en cada región se deben ensayar plantas de la zona, los medios filtrantes y los caudales de entrada con el fin de definir el sistema más óptimo. No existen sistemas estándar para todas las aguas residuales y para todas las zonas rurales de Colombia.

7.1.4 EVALUACION DE LA FITOREMEDIACION COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE SEDIMENTOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS PROCEDENTES DE LAS ESTACIONES DE SERVICIO

7.1.4.1 Descripción del proyecto

En el año 2009, a través de la alianza CARDER – UTP se desarrollo el proyecto: “Mejoramiento de la Gestión Ambiental de las Estaciones de Servicio de Risaralda” En el que se evaluó las operaciones de setenta estaciones de servicio del departamento, como almacenamiento y venta de combustible y servicios complementarios (lavado, lubricación,

engrase y mantenimiento sencillo de vehículos); se obtuvo como resultado que el 20% de las estaciones de servicio no cumplen con los requerimientos de prevención de derrames afectando los suelos y cuerpos de agua cercanos. Y el porcentaje restante aunque cumple con la prevención de derrames, manifiesta actividades diferentes que además de generar vertimientos, están produciendo residuos peligrosos RESPEL, los cuales no tienen una correcta disposición.

El trabajo se realizó en el laboratorio de Procesos de la Universidad Tecnológica de Pereira y en las instalaciones de INTEGRA, bajo el auspicio de la Facultad de Ciencias Ambientales y con el apoyo del Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento - GIAS.

7.1.4.2 Descripción del sistema usado

Para la correcta implementación del sistema se evaluó la utilización del método de fitorremediación más adecuado, escogiendo tres especies vegetales (*Phragmites*, *Typha latifolia* y *Cyperus papyrus*) con capacidad para remover los contaminantes y con resistencia para crecer en suelos contaminados con HTP.

Se llevaron a cabo dos fases, la primera se realizó en el laboratorio de Procesos de la Universidad Tecnológica de Pereira, por medio de la utilización de 9 reactores con capacidad de 5 Kg de sedimento, cada una de las especies fue sembrada en tres reactores, dos de ellos con sedimento contaminado con hidrocarburo 10.000 mg/Kg y un reactor sin contaminar como control. El sedimento fue una mezcla de arena gruesa con aceite de motor. Los reactores fueron irrigados con 30 ml de agua por 100 gr de arena seca dos veces en la semana; también se realizó una adición de nutrientes al inicio del experimento, 1g de triple 15 diluido en agua, por 1 Kg de arena seca. La actividad tuvo una duración de dos meses. Con sedimentos contaminados con hidrocarburos sembrados para identificar cuál de las plantas elegidas es la más tolerante al contaminante; y en la segunda fase se desarrolló en las instalaciones de la empresa transportadora INTEGRA en el municipio de Dosquebradas, utilizando 6 reactores con dimensiones de 0.80 m de ancho x 1.0 m de largo y 0.50 m de profundidad de los cuales cuatro (4) fueron sembrados con las plantas seleccionadas y dos sin plantar para establecer un referente a la hora de comparar la efectividad de las plantas en la disminución de los contaminantes del hidrocarburo.

7..1.4.3 *Diagrama del sistema usados*

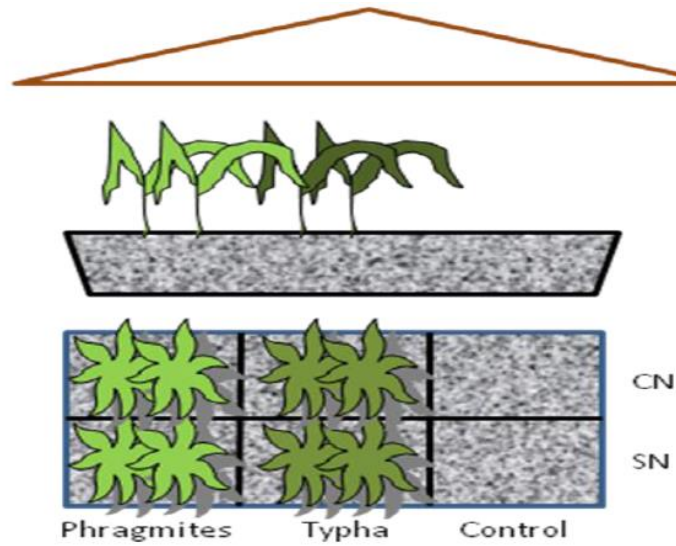


Ilustración 22. Esquema de tratamiento

CN: con nutrientes, SN: sin nutrientes



Ilustración 23. Unidades Plantadas

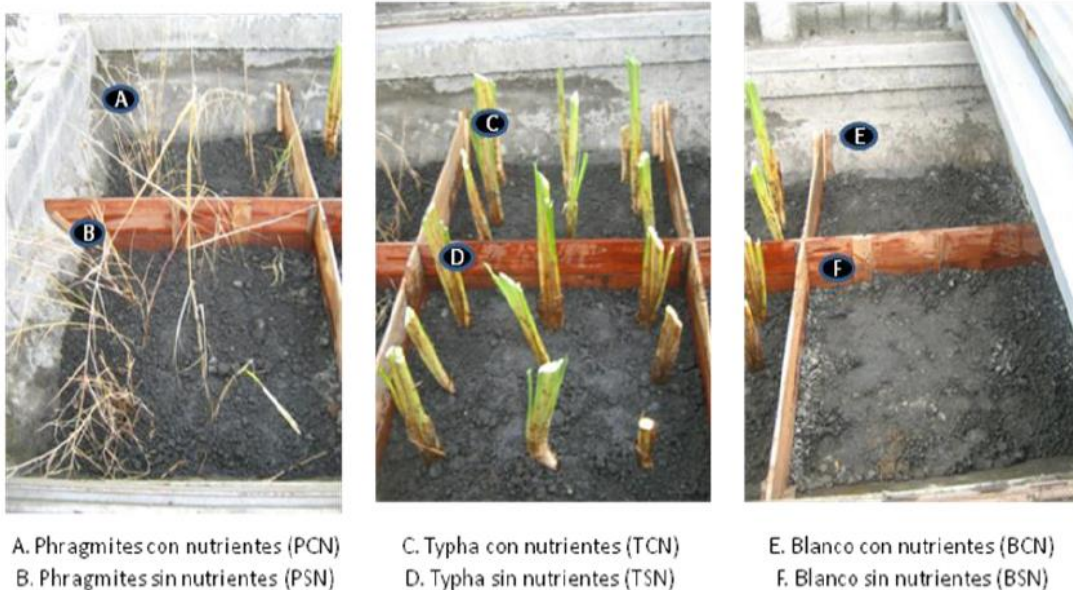


Ilustración 24. Unidades experimentales segunda fase

7..1.4.4 Resultados Importantes

Luego del desarrollo de las fases se evidencio que:

- La planta Phragmites presento la mayor tolerancia a los HTP, con una remoción del 90%, seguido de la Typha latifolia.
- En los reactores en donde se realizó adición de Triple 15, el pH tuvo comportamiento neutro con rangos entre 6.8 y 7.6 mientras que en los demás reactores (sin adición de nutrientes) el pH aumento
- Los reactores plantados y sin nutrientes y los reactores no plantados (con y sin nutrientes), presentaron un comportamiento similar en las remociones alcanzadas en ese periodo de tiempo, mientras que los reactores plantados y con nutrientes tuvieron la menor remoción.
- Los reactores plantados y no plantados presentan un comportamiento similar, pero se evidencia una mayor tendencia a la degradación del HTP en los reactores donde no hay adición de nutrientes.

7..1.4.5 Conclusiones del artículo

- La especie vegetativa *Phragmites* presenta mayor tolerancia a los HTP presentes en sedimentos provenientes de estaciones de servicio.
- Al contrastar las eficiencias obtenidas en los blancos (42 y 46%) y los reactores plantados (43 y 52%), se puede concluir que la presencia de plantas no incide de manera significativa en la remoción de HTP.
- La mayor degradación del HTP presente en los sedimentos de la estación de servicio INTEGRRA se da en la quinta semana con tasas de degradación entre 71 y 277 mg/kg*día alcanzando eficiencias hasta del 50%.
- La tasa de degradación de los HTP está en función de la concentración inicial del contaminante.
- La densidad de plantas utilizada pudo incidir en la baja degradación del HTP.
- No existen diferencias significativas estadísticamente entre el uso de plantas y la aplicación de nutrientes en la fitorremediación de sedimentos provenientes de estaciones de servicio contaminados con HTP.

7.2 SINTESIS DE LA INFORMACION REVISADA

Luego del análisis realizado a los casos de estudio se realizó una síntesis infiriendo que:

7..2.1 TABLA RESUMEN

ITEM	Experiencia	Origen del agua residual	Característica principal del sistema	Lección aprendida
1	Evaluación de la fitorremediación en términos de remoción de carga orgánica, tratando aguas residuales contaminadas con hidrocarburos.	Aguas residuales contaminadas con hidrocarburos	La investigación consistió en la instalación de tres humedales, estos sistemas experimentales fueron contruidos el primero con un medio de soporte en grava y plantado con <i>Phragmites australis</i> , el segundo con esta misma especie pero sin medio de soporte y el ultimo se tomó como referencia, sin planta sembrada, solo contenía grava como medio de soporte.	Al evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica (DQO, DBO) en cada uno de los sistemas (plantado, blanco y flotante) y al comparar cada uno de éstos en cada etapa del proceso, se determinó que el humedal más eficiente en cuanto a los parámetros mencionados es el humedal plantado
2	Planta piloto para tratamiento de aguas residuales industriales de Acesco por medio de humedales contruidos-laminas filtrantes	Aguas residuales Industriales	El proyecto consistía en determinar la eficiencia de un sistema biológico utilizando plantas hidrófitas para tratar las aguas residuales de los procesos de enjuague, desengrase y pasivado de la Línea de Galvanización en Continuo de Acesco; El sistema se implemento teniendo como base tres partes, la primera y la segunda funcionan bajo el mismo esquema a través del flujo vertical, y una tercera que utiliza el flujo horizontal para degradar los contaminantes.	La investigación en la Planta Piloto permitió esclarecer el funcionamiento del sistema biológico de la fitorremediación en donde las aguas residuales de galvanización y de pintura, contaron con una buena remoción de contaminantes logrando la aprobación del proyecto para el tratamiento de las aguas residuales en Acesco, además creando un paisaje armonioso debido a la apariencia de la planta.

ITEM	Experiencia	Origen del agua residual	Característica principal del sistema	Lección aprendida
3	Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas	Aguas residuales porcinas	Se desarrollo el diseño e implementación de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales porcinas; De acuerdo a los ensayos realizados se escogieron tres clases de plantas, (Hedychium montana- Brachiaría mutica - Brachiaría arrecta las cuales se implementaron en la ejecución del piloto. Se instalaron tres unidades con los medios filtrantes seleccionados y su disposición se hizo en canecas con adaptaciones de tubería. En cada unidad piloto había una planta diferente pero los medios filtrantes eran iguales en los tres montajes.	Las plantas que se seleccionan para los humedales artificiales deben estar acordes con el clima y las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas que se van a tratar debido a la presencia de componentes que hacen difícil la sobrevivencia de las plantas y del sistema de filtro biogeoquímico. Los medios filtrantes deben ser inertes y poseer condiciones que no aporten nutrientes, color o cambios en los parámetros fisicoquímicos de las aguas tratadas. Los humedales artificiales demuestran nuevamente ser una excelente alternativa para el tratamiento de aguas residuales producto de las actividades del sector pecuario, las cuales se caracterizan por poseer un alto contenido de materia orgánica.
4	Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de sedimentos contaminados con hidrocarburos procedentes de las estaciones de servicio	Sedimentos contaminados con hidrocarburos	Para la correcta implementación del sistema se escogieron tres especies vegetales (Phragmites, Typha latifolia y Cyperus papyrus) con capacidad para remover los contaminantes y con resistencia para crecer en suelos contaminados con HTP. Se llevaron a cabo dos fases, la primera se realizo en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de Pereira, por medio de la utilización de 9 reactores con capacidad de 5 Kg de sedimento, cada una de las especies fue sembrada en tres reactores, dos de ellos con sedimento contaminado con hidrocarburo 10.000 mg/Kg y un reactor sin contaminar como control, y en la segunda fase se desarrollo en las instalaciones de la empresa transportadora INTEGRÁ , utilizando 6 reactores de los cuales cuatro (4) fueron sembrados con las plantas seleccionadas y dos sin plantar para establecer un referente a la hora de comparar la efectividad de las plantas en la disminución de los contaminantes del hidrocarburo.	La especie vegetativa Pragmites presenta mayor tolerancia a los HTP presentes en sedimentos provenientes de estaciones de servicio. Al contrastar las eficiencias obtenidas en los blancos (42 y 46%) y los reactores plantados (43 y 52%), se puede concluir que la presencia de plantas no incide de manera significativa en la remoción de HTP.

8 CONCLUSIONES

- Al evaluar los elementos que pueden afectar las condiciones del reúso del agua identificamos 14 riesgos de los cuales solo 2 presentan un grado riesgo alto (el mal uso del agua reciclada y el de la selección de plantas no aptas para el biofiltro) aunque ambos elementos dependen de factores externos difíciles de controlar, presentan una probabilidad de ocurrencia baja, lo que permite inferir la viabilidad técnica que registra la correcta implementación del sistema.
- Luego de realizar el análisis cuantitativo de los riesgos priorizados, observamos que de materializarse estos riesgos debemos esperar 2 días de retraso y \$376.000 en costos asociados con una probabilidad de ocurrencia del 40%; de esta manera, la fitorremediación muestra ser una solución con una relación costo/beneficio bastante benéfica.
- De acuerdo a la comparación de costos entre los sistemas, usando fitorremediación y sin usarla, podemos concluir que el proyecto será viable financieramente, pues en el cuarto año ya se ha pagado el sistema, y adicionalmente se reducen los costos en un 53% anual. Además de las externalidades que le estamos ahorrando al ambiente y al país.
- Después del análisis realizado a los casos de estudio se concluye que la técnica de Fitorremediación es efectiva para el tratamiento de aguas residuales: domésticas, industriales, porcinas y las contaminadas con hidrocarburos.

9 RECOMENDACIONES

- Desarrollar la implementación de métodos como la fitorremediación, ya que este tipo de técnicas resultan ser eficientes para la remediación, protección y conservación de los recursos naturales.
- Es primordial como consumidores y generadores de aguas residuales reconocer la importancia del reúso de agua en cuanto al contexto ambiental, y en segundo lugar tener en cuenta el beneficio económico que se obtendrá a largo plazo.
- Futuros desarrollos deben conseguir aliados y sectores involucrados para que colaboren y se puedan lograr mejores resultados, ya que se observa que éste es un sistema ecológico viable.
- Para realizar seguimiento y control de los riesgos, tal y como se han identificado en el presente documento, se recomienda desarrollar un plan estructurado para lograr prevenirlos y corregirlos durante el desarrollo del proyecto.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., Hernández, M. (2010) Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, 74, 12-22.
- A. Urzelai, E. Cagigal., M. Antepara., E. Ciprian, A. Bonilla., K Gurtubay (2001) Potencial de fitorremediación de especies vegetales. *Regeneración de suelos* 165-169.
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). *Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS* (2012)
- D'Elmar, D., García, M., Heguilén, M., Rossi, Claudia. (2008) *Reutilización de aguas grises*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N. – Argentina.
- IDEAM, 2010. *Estudio Nacional del Agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.
- Martínez S., José A. *Memorias del curso “Reutilización de aguas servidas”*. XVII Congreso Centroamericano de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. El Salvador, 2012.
- M. C. Jacinto Buenfill., *Instrumentos Educativos para el Saneamiento Ecológico –Biofiltro*, producido por El Taller de Artes y Oficios AC y Sarar Transformación SC.México.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.: Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. 124 p.
- Project Management Institute (PMI) “*Guía de los Fundamentos para la dirección de Proyectos*” (Guía del PMBoK). Edición 2009. Newton Square, Pennsylvania, EUA.
- Pulgarin, M (2012) *Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de sedimentos contaminados con hidrocarburos procedentes de las estaciones de servicio en Risaralda*. Tesis de maestría en ecotecnología, Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda.
- Ramos, Y., Uribe, I., (2009) *Planta piloto para tratamiento de aguas residuales industriales de ACESCO por medio de humedales construidos – láminas filtrantes*. -II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla.

VINCULOS

- Acueducto de Bogotá, Tarifas 2013 servicios de Acueducto y Alcantarillado Residencial, Industrial, Comercial y Oficial en Bogotá. Disponible en: <http://bit.ly/1b8JsJh>
- Aguas Residuales Grises y Negras, Agua mineral natural
Disponible en: <http://www.agua-mineral.net/574/aguas-residuales-grises-y-negras/>
- Compensar, Tasas de interés.
Disponible en: <http://www.compensar.com/finanzas/tasas.aspx>
- Departamento de asuntos económicos y sociales de Naciones Unidas (ONU-DAES)
Disponible en: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- Observatorio ambiental de Bogotá. (2012). (base de datos) Bogotá.
Disponible en: <http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=1&id=763>