



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental”

TRABAJO DE GRADUACION

“ESTUDIO DE RETENCION DE METALES PESADOS EN AGUAS
SINTÉTICAS (PREPARADAS EN EL LABORATORIO) UTILIZANDO COMO
LECHO FILTRANTE LA FIBRA DE CABUYA FURCRAEA ANDINA COMO
ALTERNATIVA DE BIORREMEDIACIÓN.”

Autor: JOSÉ ENRIQUE BALDEÓN CAJO

Director: Dr. MARIO SALAZAR Mg.

Riobamba – Ecuador

AÑO
2013

CALIFICACIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:

ESTUDIO DE RETENCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS SINTÉTICAS (PREPARADAS EN EL LABORATORIO) UTILIZANDO COMO LECHO FILTRANTE LA FIBRA DE CABUYA FURCRAEA ANDINA COMO ALTERNATIVA DE BIORREMEDIACIÓN.

Presentado por: JOSÉ ENRIQUE BALDEÓN CAJO
y dirigida por: DR. MARIO SALAZAR

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Mario Cabrera.
Presidente del Tribunal

Firma

Dr. Mario Salazar
Director

Firma

Ing. Patricio Santillán.
Miembro del Tribunal

Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente al Sr. José Enrique Baldeón Cajo y al Director de la investigación Dr. Mario Salazar y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento más profundo a la Facultad de Ingeniería, a la Escuela de Ingeniería Ambiental y a sus Docentes por formarme como profesional de Éxito.

A la Doctora Anita Ríos directora del proyecto de Investigación por brindarme la oportunidad para la realización de este trabajo.

Agradezco a los miembros del tribunal de tesis por brindarme su tan valioso tiempo, por su excelente orientación, dirección y todos los consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de este trabajo.

Al personal del LSA (Laboratorio de Servicio Ambientales) de la Facultad de Ingeniería por el completo apoyo durante toda la fase de experimentación “gracias amigos”

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico con gran cariño y amor a mi madre que con su trabajo y sacrificio es el motor esencial en mi vida y a mis familiares por todo el apoyo brindado para seguir alcanzando mis metas propuestas.

José Enrique Baldeón Cajo.

INDICE GENERAL

	Pág.
INDICE DE CUADROS.....	i
INDICE DE GRAFICOS E ILUSTRACIONES.....	ii, iii, iv
RESUMEN.....	v, vi
SUMARY.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS:	
General.....	3
Específicos.....	3

A. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

1.1 Fibras Naturales.....	4
1.1.2 Clasificación de las fibras naturales.....	4
1.1.3 Fibras Vegetales.....	5
1.1.4. La Cabuya.....	7
1.1.5 Composición Taxonómica de la Cabuya.....	7
1.1.6 Composición de la Cabuya.....	7
1.1.7 Estructura física de la hoja de cabuya.....	8
1.1.8 Composición química de la hoja de cabuya.....	9
1.1.9 Composición mineralógica.....	10
1.2 Morfología.....	11

1.2.1 Raíz.....	11
1.2.2 Tallo.....	12
1.2.3 Yemas.....	12
1.2.4 Hojas.....	12
1.2.5 Flores.....	12
1.2.6 Fruto y semillas.....	12
1.3 Antecedentes Históricos.....	12
1.4 Etapas de cultivo.....	13
1.4.1 Suelo.....	13
1.4.2 Materia Orgánica.....	13
1.4.3 PH.....	13
1.4.4 Topografía.....	14
1.4.5 Temperatura.....	14
1.4.6 Humedad Relativa.....	14
1.4.7 Precipitación.....	14
1.4.8 Luz.....	14
1.5 Proceso de extracción de la fibra.....	15
1.5.1 Corte.....	15
1.5.2 Desfibrado.....	16
1.5.3 Fermentado.....	16
1.5.4 Lavado.....	17
1.5.5 Secado y Sacudido.....	17
	17

1.5.6 Empacado.....	
1.6 Aplicaciones.....	17

II. METODOLOGÍA.	Pág. 18
-------------------------	------------

2.1 TIPO DE ESTUDIO.....	18
2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	18
2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	19
2.4 PROCEDIMIENTOS.....	19
2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	20

III. RESULTADOS.

3.1 Resultados de porcentaje de humedad de la fibra.....	46
3.2 Resultados de diámetro de la fibra.....	47
3.3 Resultados de lignina de la fibra.....	48
3.4 Resultados de Cenizas.....	49
3.5 Resultados de ph de la Fibra.....	50
3.6 Resultados de Permeabilidad.....	50
3.6 Resultados de retención Metales.....	51

IV. DISCUSIÓN.....	64
---------------------------	----

4.1 DISCUSION.....	64
---------------------------	----

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
---	----

5.1 CONCLUSIONES.....	66
------------------------------	----

5.2 RECOMENDACIONES.....	67
---------------------------------	----

	Pág.
VI. PROPUESTA	69
6.1 TITULO DE LA PROPUESTA.....	69
6.2INTRODUCCION.....	69
6.3OBJETIVOS.....	71
6.4FUNDAMENTACION CINTIFICO TECNICO.....	71
6.5 DESCRIPCION DE LAPROUESTA.....	73
6.6 MONITOREO Y EVALUACION DE LA PROUPUESTA.....	78
VII. BIBLIOGRAFÍA	79
VIII ANEXOS	84

VIII. ANEXOS.

	Pag.
Anexo 1	Tulas: Limites de descargas a un cuerpo de agua dulce. 85
Anexo 2	Determinación de humedad de la fibra. 88
Anexo 3	Determinación de cenizas de la fibra. 89
Anexo 4	Determinación de pH de la fibra. 90
Anexo 5	Preparación de Soluciones. 91
Anexo 6	Equipo Experimental de Laboratorio: Filtro Bilógico 92
Anexo 7	Muestras para análisis de Laboratorio. 93
Anexo 8	Análisis de Laboratorio 94
Anexo 9	Presencia de metales por recristianización 96
Anexo 10	Vista en el microscopio de presencia de metales en forma de cristales. 97
Anexo 11	Vista en el microscopio de la fibra con presencia de metales. 98
Anexo 12	Espectros de la fibra de cabuya. 99

I ÍNICE DE CUADROS:

	Pág.
Cuadro 1 Estructura de la Cabuya.	8
Cuadro 2 Composición Química de la Cabuya	9
Cuadro 3 Composición Mineralógica de la Cabuya.	10
Cuadro 4 Resultados humedad.	46
Cuadro 5 Porcentaje de lignina.	48
Cuadro 6 Porcentaje de cenizas	49
Cuadro 7 pH de la fibra.	50
Cuadro 8 Resultados de permeabilidad de la fibra.	51
Cuadro 9 Tabla de permeabilidad para suelos.	51
Cuadro 10 Datos obtenidos de Cromo.	52
Cuadro 11 Datos obtenidos de Cobre.	52
Cuadro 12 Datos obtenidos de Cadmio.	55
Cuadro 13 Datos obtenidos de Bario.	56
Cuadro 14 Datos obtenidos de Hierro.	58
Cuadro 15 Datos obtenidos de Níquel.	59
Cuadro 16 Datos obtenidos de Plomo.	61
Cuadro 17 Porcentaje de remoción utilizando la fibra cabuya.	63

INDICE DE GRAFICOS E ILUSTRACIONES.

	Pág.	
Fig. 1	Clasificación de las fibras naturales.	5
Fig. 2	Clasificación de las fibras vegetales.	6
Fig. 3	Estructura de la Lignina.	11
Fig. 4	Corte de hojas de Cabuya.	15
Fig. 5	Desfibrado de la Cabuya.	15
Fig. 6	Lavado de la fibra.	16
Fig. 7	Secado de la fibra	17
Fig. 8	Empacado de la fibra.	17
Fig. 9	Balanza Analítica y Estufa.	21
Fig. 10	Vista en el microscopio de la fibra.	22
Fig. 11	Análisis de Lignina	23
Fig. 12	Crisoles con fibra para análisis de cenizas.	24
Fig. 13	Equipo para determinación de Ph	24
Fig. 14	Esquema del equipo usado para la medición de permeabilidad	32
Fig. 15	Esquema experimental de Laboratorio.	34
Fig. 16	Equipo Experimental de Laboratorio	35
Fig. 17	Recolección de muestras para análisis.	37
Fig. 18	Equipo Hach.	37
Fig. 19	Análisis de Laboratorio de Cobre.	38
Fig. 20	Muestras para análisis de Cromo.	39
Fig. 21	Análisis de Cadmio.	41
Fig. 22	Muestras de Níquel.	42
Fig. 23	Muestras de Bario.	43
Fig.24	Muestras de Hierro.	44
Fig.25	Muestras de Plomo.	45
Fig.26	Muestras en Cajas petri.	46
Fig.27	Vista diámetro de la Fibra.	48
Fig.28	Diámetros de fibra.	48
Fig.29	Vista del corte de la fibra.	49
Fig.30	Grafica de valores obtenidos de Cromo.	53
Fig.31	Grafica de valores obtenidos de Cobre.	55
Fig.32	Grafica de valores obtenidos de Cadmio.	56
Fig.33	Grafica de valores obtenidos de Bario.	58
Fig.34	Grafica de valores obtenidos de Hierro	59
Fig.35	Grafica de valores obtenidos de Niquel	61
Fig.36	Grafica de valores obtenidos de Plomo	62
Fig.37	Esquema de barrera permeable reactiva (PRB).	70
Fig.38	Esquema de la estructura del modelo físico en el canal	75
Fig.39	Esquema de referencia - Barrera anular.	76

Fig.40	Elementos que constituyen la barrera anular	76
Fig.41	Esquema proyectual del modelo Físico de barrera anulare.	78
Fig.42	Esquema de barrera reactiva permeable.	78

RESUMEN

Este trabajo presenta información de la investigación realizada sobre la fibra de cabuya (*Furcraea Andina*), por otra parte el trabajo reúne tanto recopilación bibliográfica como trabajo experimental de laboratorio, hechos que hacen de este, un trabajo investigativo, el cual permite que se genere conocimiento a nivel académico y crecimiento a nivel profesional.

En la presente investigación se discuten, los primeros resultados experimentales obtenidos del estudio de la fibra cabuya blanca (*Furcraea Andina*) como agente reactivo en la remoción de metales pesados. Los resultados mostrados en este estudio son: la capacidad de remoción de la fibra de los cationes de Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Plomo (Pb), Bario (Ba), Níquel (Ni) en solución considerando el tiempo de contacto de la fibra, y las condiciones de filtrado.

En la investigación se realizó una caracterización de la fibra de cabuya analizando la humedad, el diámetro, cenizas presentes, y el porcentaje de lignina, y el pH. Posteriormente se realizaron pruebas de columna con un filtro que contenía fibra de cabuya para determinar la retención de metales pesados en aguas sintéticas o de laboratorio, luego de haber pasado por el filtro se procedió a la toma de muestras para en lo posterior analizar los resultados obtenidos en el laboratorio siguiendo las normas y utilizando la técnica de los métodos estandarizados para análisis de aguas.

Finalmente después de analizar los resultados de los análisis se determino que la fibra de cabuya retiene un porcentaje considerable de metales pesados que fueron objeto de este estudio, por ende se lo considera como una excelente alternativa de biorremediación para aguas contaminadas con estos metales pesados; a excepción del catión metálico Bario con el cual no se obtuvo buenos resultados.

SUMMARY

This paper presents information of research on sisal fiber (*Furcracea Andina*), on the other hand the work gathers both bibliography and, experimental laboratory work, acts that make of this, an investigative work that which allows, generating knowledge to academic level and growth to level professional.

In the present investigation are discussed, the first experimental results obtained from the study of white sisal fiber (*Furcracea Andina*), as reagent in the removal of heavy metals. The results shown in this study are: the removal capacity of the fiber of the cations of cadmium (Cd), copper (Cu), chromium (Cr), iron (Fe), lead (Pb), barium (Ba), nickel (Ni) in solution, considering the time of contact of the fiber and filtering conditions.

In the research was carried out a characterization of sisal fiber, analyzing moisture, diameter, presence of ash, the percentage of lignin, and pH. Subsequently performed tests, with a filter column containing sisal fiber to determine retention of heavy metals in synthetic or laboratory waters, having passed through the filter proceeded to the taking of samples for, to subsequently analyze the results in the laboratory following standards of laboratory technique using standardized methods for water analysis

Finally after analyzing the results of these analysis, it was determined that the sisal fiber retains a significant percentage of heavy metals which were studied, for thus it is considered as an excellent alternative to polluted water bioremediation with these heavy metals, except Barium metal cation, because with this was not obtained good results.

1. INTRODUCCIÓN.

La presente investigación es un aporte al proyecto que ejecuta la Universidad Nacional de Chimborazo con el nombre ***“Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (Furcraea andina) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorio de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa.”*** Analizando las características físicas y químicas de la fibra de cabuya como también determinando la remoción de metales pesados por la fibra de Cabuya blanca.

En los últimos años la contaminación del agua causada por las actividades del hombre es un fenómeno ambiental de importancia, se inicia desde los primeros intentos de industrialización, para transformarse en un problema generalizado, a partir de la revolución industrial, iniciada a comienzos del siglo XIX.

Los procesos de producción industrial iniciados en esta época requieren la utilización de grandes volúmenes de agua para la transformación de materias primas, siendo los efluentes de dichos procesos productivos, vertidos en los cauces naturales de agua (ríos, lagos) con desechos contaminantes.

Desde entonces, esta situación se ha repetido en todos los países que han desarrollado la industrialización, y aún cuando la tecnología ha logrado reducir de alguna forma el volumen y tipo de contaminantes vertidos a los cauces naturales de agua, ello no ha ocurrido ni en la forma ni en la cantidad necesarias para que el problema de contaminación de las aguas esté resuelto.

Investigaciones científicas han demostrado las repercusiones negativas de los metales pesados en el ecosistema y la salud del ser humano cuya exposición está relacionada con problemas de salud como: retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en los riñones, e, incluso, con casos de muerte.

Estos problemas han generado mucha preocupación pues, son muchas las actividades del hombre que producen desecho, que lentamente han ido alterando el equilibrio ecológico y agotando los recursos naturales.

Conocedor de que el agua es un recurso de mucha importancia para las sobrevivencia de los seres vivos los cuales se benefician de este recurso y sabiendo que no existe una investigación sobre la caracterización de la fibra de la cabuya, se ve la necesidad de realizar la determinación de las características físicas, químicas y estudio retención de metales por la fibra de cabuya blanca (*Furcraea Andina*), promoviendo de esta forma una alternativa de Biorremediación.

OBJETIVOS.

General:

- Determinar la retención de los metales pesados (Cu, Cr, Pb) en aguas sintéticas (aguas de laboratorio) utilizando como lecho filtrante la fibra de cabuya (*Furcraea andina*)

Específicos:

- Realizar análisis de lignina, diámetro y porcentaje de humedad de la fibra de la cabuya.
- Determinar la retención de los metales mediante análisis de las aguas antes y después del tratamiento biológico.
- Determinar el porcentaje de remoción de metales pesados objeto de estudio.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

1.1 FIBRAS NATURALES

Existen dos tipos de fibras naturales las vegetales y las animales, las fibras de origen vegetal son estructuras celulósicas, la celulosa es el polímero de azúcar más común en las estructuras de soporte de las plantas, por lo que las fibras tienen su base en este material.

Las fibras vegetales son aquellas fibras naturales extraídas del reino vegetal en sus más variadas formas: semillas, tallos, hojas, frutos y raíces y procesadas de forma tal que se obtienen productos de aplicación textil.

En los orígenes de la historia humana encontramos la implementación indispensable de las fibras naturales ya sea para el rubro textil o para el cotidiano. Con el paso de los años los procesos de obtención y procesamiento de dichas fibras fueron acelerándose por medio de nuevas tecnologías.

Las aplicaciones de las fibras naturales son cada vez más diversas, aunque sigue siendo el sector textil el que más las utiliza. Respecto a sus ventajas para el medio ambiente y la salud, el empleo de forma sostenible de las fibras de origen vegetal y animal proporciona un recurso natural completamente renovable por la propia naturaleza, evitando el impacto de los materiales sintéticos, que utilizan derivados del petróleo.

1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS NATURALES.

Las fibras naturales comprenden todas las fibras que se han formado por un proceso de la naturaleza. Los tres reinos suministran fibras de factible utilización.

Se podrían clasificar dependiendo de sus características, debido a que son muy diversas, pero quizá la clasificación más general sea la siguiente:

- Fibras animales

- Fibras minerales
- Fibras vegetales.

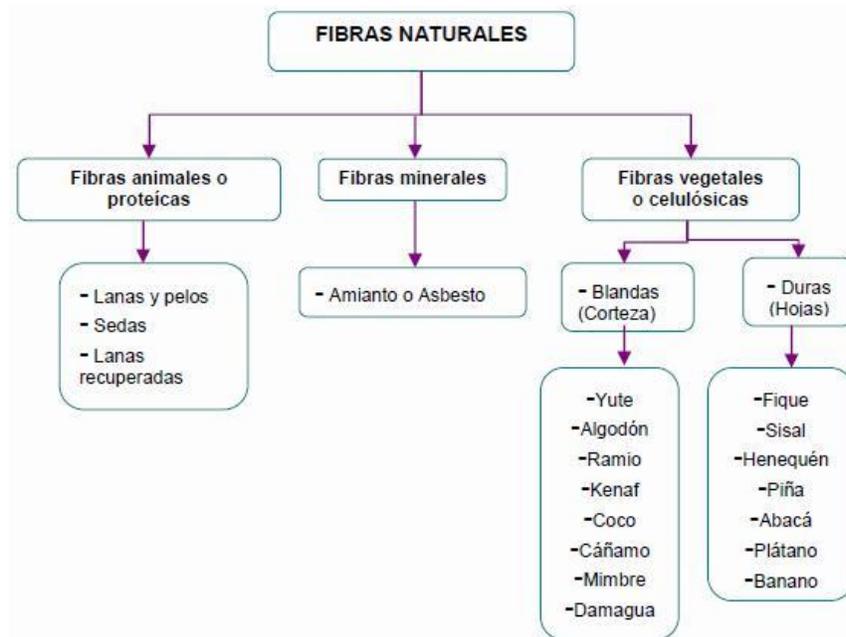


Fig. 1. Clasificación general de las fibras naturales

Fuente: VILLAREAL, Andrés. Fibras Naturales

1.1.3 FIBRAS VEGETALES.

Las fibras de origen vegetal poseen un interés extraordinario, no solo por su elevado número, puesto que existen más de 700 plantas que son capaces de suministrar fibras, sino también por sus relevantes propiedades físicas y químicas.

Las fibras vegetales pueden clasificarse tomando en consideración su origen anatómico, su tipificación botánica, sus usos, etc.

Sin embargo comercialmente se pueden clasificar en duras y blandas.

“Las blandas, como el lino y el ramio, son obtenidas básicamente del floema (del griego *phlos* = corteza), que son los tejidos del sistema vascular de la planta que transportan azúcares y otros productos de la fotosíntesis, son de tallos de dicotiledóneas (plantas con flor) que pueden estar más o menos lignificadas, son suaves, elásticas y flexibles”.

Las duras, “son aquellas que tienen su origen en las hojas, como el fique, abacá, piña, palmas, entre otras. Son fibras de hojas de monocotiledóneas, cada una es un cordón fibroso o un haz vascular que poseen un alto contenido de lignina y tiene textura rígida.”

Las fibras que nacen de la semilla o en el interior de las paredes de la fruta, consisten en una sola, larga y estrecha célula, la cual es la fibra fundamentalmente.

También son importantes las fibras provenientes de la madera de los árboles, las cuales consisten en varios elementos de la parte del tejido vascular de la madera y son usadas para la fabricación del papel.

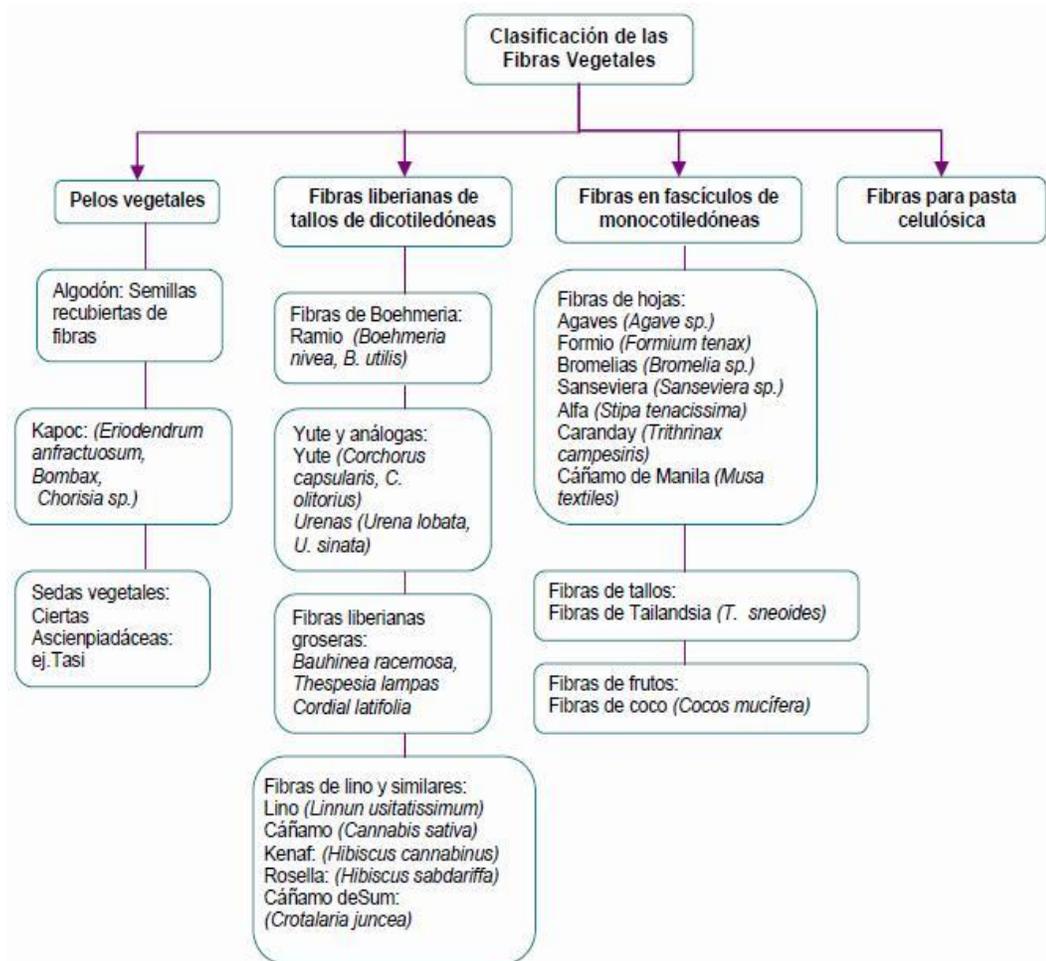


Fig. 2 Clasificación de las fibras vegetales

Fuente: OLNEY, L., A., *Tecnología química de fibras textiles.* Buenos Aires: El Ateneo, 1947.

1.1.4 LA CABUYA.

Es una planta grande de tallo erguido, su altura varía entre 2 y 7 metros, esta densamente poblada de hojas de color verde en forma radial largas (1 a 3 m) angostas (10 a 20 cm) carnosas, puntiagudas anclado y dentado espinosas, en algunas variedades, presentando líneas o estrías de unos 3 mm de largo, su flor es de color blanco verdoso llamado maguey o escapo, solo florece una vez en su ciclo de vida y luego le sobreviene la muerte.

La semilla germina en la planta y sus propágulos (bulbillos) caen ya formados al suelo por lo que se le conoce al fique como planta vivípara.

Esta fibra es nativa de las regiones Andinas y crece con facilidad en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de Ecuador y Perú.

1.1.5 COMPOSICIÓN TAXONÓMICA DE LA CABUYA:

Reino: Vegetal

Clase: Angiospermae

Subclase: Monocotiledóneas

Orden: Liliflorae

Familia: Agavaceae

Género: Furcraea.

Nombre Común: Fique Cabuya, Penca, Fique Perulero, Maguey, Cabul, Cabuya Blanca, Chuchao, Cocuiza.(Ministerio Ambiente, 2006)

1.1.6 COMPOSICIÓN DE LA CABUYA.

Sus constituyentes físicos, químicos y mineralógicos, se conocen en forma cuantitativa, siendo agua, celulosa, materia orgánica y minerales, con los siguientes valores porcentuales:

- ✓ 85% Humedad
- ✓ 6% Celulosa(D-celulosa)

- ✓ 8% parte orgánica y amorfa (con sacarosa, proteínas, nitrógeno, fosforo, calcio, potasio, saponinas y sapogeninas).
- ✓ 1% Minerales (Ministerio Ambiente, 2006).

1.1.7 ESTRUCTURA FÍSICA DE LA HOJA DE CABUYA.

Componente	Porcentaje en la hoja.	Porcentaje útil	Usos.
Fibra.	5	4	En la industria textil, empaques.
Jugo	70	40	Extracción de esteroides.
Estopa	8	3	Pulpa papel
Bagazo	17	10	Material de construcción, abonos.

Cuadro1. Estructura de la cabuya.

Fuente. (Arroyave and Velásquez, 2001).

1.1.8 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HOJA DE CABUYA

Las fibras contienen en su composición química un factor importante: la celulosa. Las fibras vegetales están compuestas también de hemicelulosa, lignina homocelulosa y celulosa. Otros componentes usualmente observados, son las pectinas y ceras como se muestra en la Cuadro 2. Mwaikambo y Ansell¹⁶ dicen que la composición química ayuda a determinar las propiedades y los usos de las fibras. Por ejemplo, la lignina facilita la reacción entre las fibras y algunos agentes químicos permitiendo así una mejor respuesta a las modificaciones químicas como la acetilación. Un contenido más alto de celulosa en la fibra conduce a una rigidez más alta y, por lo tanto, será la más conveniente para el refuerzo de resinas.

Fibra		Jugo	Bagazo	
Cenizas	0.07%	Clorofila	Ceniza	0,122
Celulosa	73.80%	Caratenoides		0,0364
Resinas, ceras y grasas.	1.90	Saponinas Azucares	Proteínas Elementos Nitrogenatos	9,84% 71,29
Lignina.	11.30	Resinas	Calcio	0,2165
Pentosanos	10.50	Flavonoides Acidos Organicos	Fósforos Magnesio	0,09% 0,2%
Total	98.20	Alquitranes Agua Lignina Calcio Lipoides Fosforo	Fosforo Solido Cobre Hierro Magnesio Zinc	1,81% 0,04% 14% 647% 33% 17%

Cuadro2. Composición química de la Cabuya.

Fuente. (Arroyave and Velásquez, 2001).

1.1.9 COMPOSICIÓN MINERALOGICA DE LA CABUYA.

Elementos	Cenizas (%)	Hoja.	Fibra.
Nitrógeno	6,84	1,32%	0,22
Fosforo	0,58	0,49%	0,04
Potasio	0,61	7,56%	0,26
Calcio	1,51	3,58%	0,96
Magnesio	0,11	0,72%	0,1%

Sodio	0,42	0,4%	0,55%
Hierro	0,98	52,20ppm	31,6%
Cobre	0,03	8,10ppm	1,4%
Magnesio	0,06	45,60ppm	9,4%
Zinc	0,06	35 ppm	16,9%
Boro	Trazas	14,5	1,8%
Cobalto	Trazas	Trazas	Trazas
Cloro	0,16	Trazas	Trazas

Cuadro 3. Composición Mineralógica de la cabuya.

Fuente, (Ministerio Ambiente, 2006).

Un elemento muy importante que caracteriza a la mayoría de las fibras es la lignina, que es un polímero natural cuya estructura es muy compleja, tridimensional y presenta varias ramificaciones de grupos hidroxilo.

La lignina es la segunda sustancia orgánica más abundante en el planeta, después de la celulosa y se acumula en las paredes de las células vegetales, que constituyen los tejidos más resistentes de la planta, formando el leño o la madera, además es común en frutos y semillas, como el durazno, el coco, la ciruela, etc.

A pesar de que tiene relativamente bajo peso molecular, la lignina no es soluble en agua, tiene una fuerte resistencia a las reacciones químicas y una gran superficie (180m² / g). Su peso molecular varía de 2000 a 15 000 g / mol.

Las propiedades de este compuesto revelan que tiene un buen potencial para ser utilizado como un medio de absorción para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales (Mohanty et al., 2000).

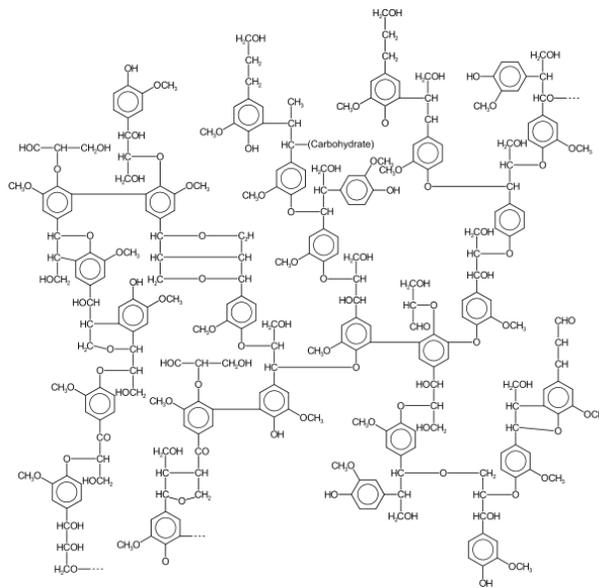


Fig.3 Estructura de la lignina.

Fuente: *Enciclopedia libre wikipedia.*

Sin embargo, las propiedades de los filamentos y fibras pueden variar considerablemente dependiendo de la fuente, edad, técnica de separación, contenido de humedad, velocidad de ensayo, etc.

El estudio de Goo-Beom Lee (Lee et al., 2004) sobre la interacción entre los metales pesados y las fibras naturales mostró que la lignina de las fibras tiene un papel importante en el proceso de adsorción de cationes metálicos. Otros estudios científicos (Troisi et al., 2009; Fallico et al., 2010) muestran además que, si bien la lignina juega un papel fundamental en el proceso de adsorción de metales pesados, es importante considerar otros factores como la concentración de cationes metálicos en solución.

1.2 MORFOLOGÍA.

1.2.1 RAÍZ: Son primarias, formadas por el desarrollo de la radícula de los bulbos o de los hijuelos, estas se ramifican y dan origen a las raíces secundarias.

1.2.2 TALLO: Corto o bien desarrollado y de forma cilíndrica.

Crecimiento erguido, superficie ligeramente rugosa.

1.2.3 YEMAS: Su posición es terminal, aunque existen yemas laterales y adventicias, que permanecen inactivas por periodos largos, hasta que encuentran un ambiente propicio para su desarrollo.

1.2.4 HOJAS: Son persistentes, verticiladas y simples. Su forma es laminar lanceolada, más o menos diez veces más largas que anchas y acuminadas. En algunas variedades, los bordes pueden ser enteros, dentados o aserrados. Pueden llegar a medir hasta 3m.

1.2.5 FLORES: Son de inflorescencia pluriflora, indeterminada, compuesta y en forma de panícula. Son hermafroditas, más o menos actinomorfas, con simetría radial.

1.2.6 FRUTOS Y SEMILLA: Su fruto es una cápsula en donde se alojan varias semillas, las cuales tienen endospermo carnoso que rodea el pequeño embrión.

1.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS:

La cabuya tuvo gran importancia en las sociedades prehispánicas. Fue una de las primeras fibras vegetales procesadas para la manufactura de tejidos como redes, hondas y otros textiles. En Paracas se encuentran hondas o warakas hechas de cabuya asociadas a los ajuares funerarios. La honda es una "boleadora" de fibra vegetal, destinada para arrojar piedras y cazar. En la cultura Nasca la fibra de cabuya se utiliza para hacer vástagos o sujetadores de los abanicos de plumas, asimismo sirvió para elaborar hondas, redes y calzados.

1.4 ETAPAS DEL CULTIVO.

Desarrollo de la plantación: 36 meses.

Inicio de la cosecha: 36 meses

Vida económica: Perenne.

Material de siembra: Hijuelos o bulbillos, que se localizarán cuidadosamente.

Distancia de siembra: 1.5 y 1.5 m entre plantas y de 3 a 4 m para las calles.

Densidad de siembra: 800 plantas/has

1.4.1 SUELO: Los mejores suelos para el cultivo son los sílico-arcillosos y afines, es decir, de texturas medianas. Para al cabuya se requiere que los suelos tengan buena porosidad: Por ella circulan los gases y las soluciones que toman las raíces.

En suelos pesados, arcillosos, limo-arcillosos, etc., el desarrollo radicular del fique es muy precario; en suelos demasiado sueltos como los francos, se obtienen menores cosechas y las plantas sufren disturbios fisiológicos por deficiencia de ciertos minerales.

En resumen, los mejores suelos para el fique son los lateríticos, sílico-arcillosos, permeables, relativamente profundos y más o menos fértiles. Plantaciones en suelos inapropiados o en condiciones agro ecológicas inadecuadas fácilmente pueden fracasar.

1.4.2 MATERIA ORGÁNICA: Proporciona una buena granulación al suelo. Se debe fomentar en suelos pesados para que se aireen y drenen mejor. El fique es una planta rehabilitadora de suelos pobres, faltos de materia orgánica. El fique es de sistema radicular corto, rico en nitrógeno, debido a la acumulación de raíces que van muriendo.

1.4.3 pH: No es limitante en el desarrollo de la planta de cabuya. El pH para su buen desarrollo debe estar entre 5 y 7.

1.4.4 TOPOGRAFÍA: En Colombia se desarrolla en tierras quebradas. En ladera las siembras deben ir acompañadas de prácticas de conservación de suelos.

1.4.5 TEMPERATURA: Los límites óptimos de temperatura donde crece la cabuya son 18 a 24°C, es decir, la zona cafetera, zona templada o media, comprendida entre los 1.000 y 2.000 m.s.n.m. A menos de 17°C, el desarrollo de la planta es muy lento, la fibra menos resistente y el número de hojas escaso.

Por encima de los 23°C, el desarrollo es rápido, pero el contenido de fibra y la longevidad de la planta es menor.

1.4 HUMEDAD RELATIVA: El fique en medios húmedos es muy susceptible al ataque de organismos patógenos (por lo general hongos) que hacen imposible su explotación económica. Una humedad relativa media de 50%-70% es excelente para el cultivo del fique.

1.4.7 PRECIPITACIÓN: La cabuya tiene un amplio rango de adaptación en cuanto a precipitación. En Colombia la cabuya requiere una precipitación superior a los 800 mm, anuales y en lugares demasiado lluviosos (más de 2.500 mm) la fibra no es de buena calidad.

La precipitación óptima para el cultivo fluctúa entre los 1.000 y los 1.600 mm, bien distribuidos en el año.

1.4.8 LUZ: Además de influir notablemente en el proceso de fotosíntesis de toda planta, lo hace en la morfología y anatomía de las hojas, haciendo el parénquima de empalizada más grueso, lo mismo que el espesor de las hojas.

En resumen, las condiciones climáticas óptimas para la cabuya son: Temperatura entre 19 y 23 °C; a.s.n.m 1.300 2.000 m; humedad relativa entre el 50% y 70%; precipitación de 1.000 a 1.600 mm, anuales, y buena luminosidad: 5 a 6 horas de sol promedio diario anual.

Su vida útil va de 12 a 20 años, en algunos casos llega hasta los 40-50 años. El número, tamaño de hojas y calidad de la fibra dependen del suelo y de las condiciones climáticas.

La planta de cabuya presenta estructuras peculiares de defensa contra condiciones de aridez, como hojas carnosas de reducido número de estomas, con capa cerosa y presión osmótica dentro de las células relativamente baja. Resiste una sequía relativa. Poco resistente a la humedad excesiva.

Esta planta produce fibras largas duras y resistentes, jugos con propiedades químicas naturales ideales para la industria farmacéutica, bagazos aptos para el sector de la construcción entre otros y la estopa materia prima para producir pulpa de papel

El promedio general del largo es de 120 cm, el tipo de fibras y su calidad varían de acuerdo al microclima. La resistencia a tracción, elongación, fineza y otras características físicas dependen de la especie, variedad, suelo, clima y beneficio dado a la hoja. Hojas muy jóvenes contienen fibra más débil y las muy maduras se pudren más fácilmente.

1.5 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA:

1.5.1 CORTE: Se cosechan las hojas que forman un ángulo no menor de 40° con el eje vertical de la planta. Se hacen hasta dos cortes de hojas en el año. Cortar sólo hojas maduras.

Hacer un corte uniforme de las hojas, lo más cerca posible del tallo. No se deben herir hojas que van a permanecer en la planta.

Las variedades que tienen tuna se deben despinar para facilitar su transporte al sitio de beneficio. La hoja se despalma en la base, 10 a 15 cm, para evitar motas y enredos y facilitar el desfibrado.

Entre la operación de corte y la siguiente operación que es el desfibrado no deben pasar más de 15 horas. Si esto ocurre se da el fenómeno fisiológico denominado de "empalizada". Es un avinagramiento de la hoja y afecta la calidad de la fibra.



Fig. 4. Corte de hojas de Cabuya.

Fuente: Finagro.

1.5.2 DESFIBRADO: Al desfibrar se van haciendo manojos de 12 hojas en verde para facilitar las labores de transporte, fermentado, sacudido, lavado y secado.



Fig. 5. Desfibrado de la Cabuya

Fuente Finagro.

1.5.3 FERMENTADO: La fermentación es fundamental para la obtención de fibra de mayor calidad, se hace de un día para otro, se hace una primera sacudida para soltar el ripio o chanda.

El sereno contribuye a que la cabuya blanquee mejor y sea menos agresiva, o sea que pique menos. Transcurrida esa noche se le hace un primer sacudido para eliminarle residuos y se procede al paso siguiente.

1.5.4 LAVADO: La fibra fermentada pasa al tanque de lavado, se adiciona agua y se apisona hasta el punto en que la fibra quede completamente cubierta de agua. No se debe lavar en quebradas ni en fuentes naturales de agua.

El producto del lavado en tanque, se puede utilizar como abono líquido en los cultivos de la finca. Se deja de un día para otro. Se hace una segunda sacudida y se pasa al secado.



Fig. 6 Lavado de la fibra.

Fuente: Finagro.

1.5.5 SECADO Y SACUDIDO: Se debe secar sobre alambre o guaduas, preferiblemente utilizar las marquesinas en el caso que se dispongan de ellas, pues en los secaderos aéreos cubiertos se seca más rápido la fibra, es más limpia, libre de residuos orgánicos y el 12% de porcentaje de humedad permitido se obtiene rápido y fácilmente.

No tender en el suelo pues se somete la fibra a mohosearse, también puede negrearse y se dificulta alcanzar el grado máximo de humedad.



Fig. 7 Secado de la fibra.

Fuente Finagro.

1.5.6 EMPACADO: Se hacen manojos de 2 Kg., y bultos o pacas de 50 Kg. ó 4 arrobas, con el fin de facilitar el pesaje y transporte de la fibra.



Fig. 8. Empacado de la fibra.

Fuente Finagro.

1.6 APLICACIONES:

En sus orígenes, la cabuya crecía casi de manera espontánea y los habitantes de estas regiones lo desfibaban para la fabricación de alpargatas, redes y cuerdas para sus labores domésticas, igualmente sus subproductos eran utilizados con fines medicinales.

Las fibras de cabuya, se utilizan para hacer hilos con los que se pueden confeccionar redes, cestería, y sogas para puentes colgantes. En agroforestería se le emplea para hacer cercos vivos, y para el control de la erosión en las laderas secas con pendiente.

En medicina tradicional se emplea para curar llagas inflamadas, sarna, y eliminar parásitos externos. También es usada como calmante de quemaduras, es diurética y el zumo de sus hojas posee propiedades cáusticas que sirven como detergente.

La cabuya es una fibra biodegradable que al descomponerse se emplea como alimento y abono; además, no contamina el agua y permite hacer producción limpia. Sus ventajas son tanto ambientales como de economía, facilidad y calidad.

La fibra que se extrae de las hojas se emplea para hacer shigras o bolsos, cuerdas para distinto tipo de amarres, especialmente para atar materiales vegetales en la construcción de techos de viviendas, sogas para amarrar vacas, para fabricar costales, lonas, alpargatas, felpudos y alfombras (Acosta-Solís 1952, Cerón 1994, Cuvi 1994).

Hay un gran mercado de compraventa de esta fibra en Riobamba y muchos productos se comercializan en distintos mercados del país.

En la actualidad, el uso de las plantas de fibra tiene gran importancia en las sociedades rurales y campesinas andinas porque ofrecen multitud de recursos domésticos para gente con escasos recursos económicos.

CAPÍTULO II

2 METODOLOGÍA.

El tipo de estudio del presente tema de investigación, se orienta directamente a un método de investigación particular con un método experimental de laboratorio.

2.1 TIPO DE ESTUDIO.

La presente investigación se realizó utilizando métodos de estudio de tipo bibliográfico y experimental.

Estudio de tipo bibliográfico por cuanto se va a revisar toda la información posible relacionada con el tema, como por ejemplo publicaciones de fibras, libros y documentos relacionados con el tema y revisión de sitios web.

Estudio experimental porque se lo va a realizar netamente en el Laboratorio de Servicios Ambientales con la fibra de cabuya blanca existente en la región también se va a realizar ensayos y tomas de muestras, variando condiciones de concentraciones de contaminante y analizando las condiciones de filtración, para así poder determinar la remoción de metales pesados por la fibra.

La investigación fue realizada en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Facultad de Ingeniería con una duración de siete meses.

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.

Población:

La población que se considero fueron las aguas sintéticas preparadas en el laboratorio.

Muestra:

La muestra utilizada fue toda la población.

2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

VARIABLES	CONCEPTO	CATEGORIA	INDICADOR	TECNICA Y/O INSTRUMENTO
VARIABLES INDEPENDIENTES: FIBRA DE LA CABUYA	Es una fibra extraída de un vegetal.	Fibra del vegetal	Porcentaje de humedad Porcentaje de lignina. Diámetro	STANDARD METHODS
VARIABLE DEPENDIENTE: RETENCION DE METALES.	Cantidad de metales retenidos	Absorción de Metales.	Tipos de metales retenidos. Porcentaje de metales.	STANDARD METHODS

2.4 PROCEDIMIENTOS.

Para la presente investigación se siguieron los siguientes procedimientos:

- ✓ Determinación de la humedad de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) por el método de la estufa de aire.
- ✓ Determinación de lignina de la fibra.
- ✓ Determinación de ceniza.
- ✓ Determinación de pH.
- ✓ Preparación de Soluciones.
- ✓ Análisis de permeabilidad de la fibra.
- ✓ Pruebas en columna.
- ✓ Toma de muestras.
- ✓ Análisis de Laboratorio.

2.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

2.5.1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD POR EL MÉTODO ESTUFA AL AIRE.

Procedimiento:

1. Pesar 3g de fibra.
2. Deshidratar una capsula de porcelana en la estufa hasta obtener peso constante.
3. Colocar la muestra en la capsula teniendo cuidado que la muestra tenga un máximo esparcimiento en la superficie de la capsula y de inmediato en la estufa a 110 °C, esperar un lapso de 2 horas.
4. Retire la capsula de estufa y dejar enfriar unos 20 minutos, pesar tan pronto como se equilibre la temperatura del ambiente.
5. Vuélvase a introducir la muestra en la estufa. Manténgase en ella 1hora y pese nuevamente.
6. Repítase la operación hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 2mg.



Fig. 9 .Balanza Analítica (Sartorius BP2215) y Estufa (Mettmert)

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Calculo:

Datos:

Peso de la fibra antes de ser sometida a la estufa.

W1

Peso de la capsula tarada. W2
 Peso de la muestra seca más la capsula. W3

$$\% .M .S = \frac{W3}{W1}$$

$$\% H = 100 - \frac{W3}{W1 + W2} \times 100$$

2.5.2 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA FIBRA.

El diámetro de las fibras se obtuvo usando un microscopio electrónico Marca Vega 3 LM con un lente de aumento 100 x, como se muestra en la Figura 10.

A cada fibra se le realizaron 10 mediciones arrojando un dato promedio confiable, el cual fue utilizado posteriormente como variable inicial para el ensayo del laboratorio de retención de metales.

Por medio del Microscopio Electrónico de Barrido se pudo determinar el dimensionamiento de la fibra que se está utilizando para el estudio.

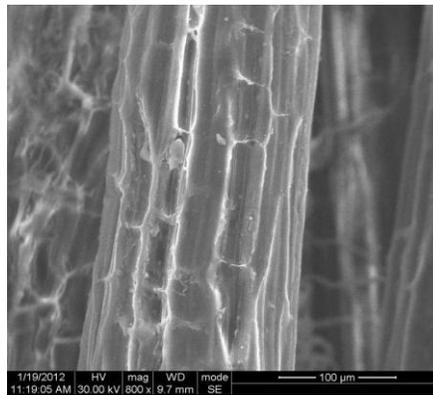


Fig. 10 .Vista en el microscopio de la Fibra.

Fuente: “Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorios de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa.

2.5.3 DETERMINACIÓN DE LIGNINA DE LA FIBRA.

Procedimiento:

Primero fue necesario preparar la fibra haciendo previamente FDA (fibra detergente ácido).

El detergente elimina la proteína y otro material soluble en ácido que pueda interferir con la determinación de la lignina.

El residuo FDA que consta de celulosa, lignina y cenizas insolubles en ácido, es tratado con Acido Sulfúrico (H_2SO_4) al 72% para disolver la celulosa, luego se hace una digestión con una solución de permanganato de potasio ($KMnO_4$), se lava el residuo con una solución desmineralizadora y se seca a $105\text{ }^\circ\text{C}$

Finalmente, el contenido de lignina se calcula basándose en el peso de la fibra posterior al FDA, y el obtenido luego del secado a $105\text{ }^\circ\text{C}$.



Fig. 11 Análisis de lignina.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”.)

2.5.4 DETERMINACIÓN DE CENIZA.

Procedimiento:

1. Colocar en el horno de mufla un crisol durante 15 minutos o más.
2. Sacar el crisol enfriarlo en un desecador durante al menos 1 hora y una vez enfriado a temperatura ambiente pesar hasta temperatura ambiente.
3. Pesar 3.00g de fibra colocar en el crisol evitando salpicaduras durante la fase de carbonización.

4. Colocar el crisol sobre una placa de calentamiento en vitrina de gases e ir incrementando lentamente la temperatura hasta que cese el desprendimiento de humo y las muestras aparezcan totalmente carbonizadas.
5. De inmediato colocar el crisol en el interior de horno de mufla lo más cerca posible al centro e incinerar durante un lapso de 3 horas a 550° C.
6. Sacar el crisol de la mufla y colocarlo en un desecador durante al menos 1 hora y dejarlos enfriar. (las cenizas deben tener aspecto limpio, y color blanco).
7. Una vez enfriado a temperatura ambiente volver a pesar el crisol con sus cenizas y tomar los datos.



Fig. 12 Crisoles con fibra para análisis de cenizas y Estufa (Memmert)

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”.)

Calculo:

Datos:

Peso del crisol sin muestra	W1
Peso de la muestra de fibra	W2
Peso final del crisol más la muestra incinerada.	W3

$$\% \text{ ceniza} = \frac{W1 - W2}{W3} \cdot 100$$

2.5.5 DETERMINACIÓN DE pH.

Procedimiento:

1. Cortar la fibra en cortos pedazos.
2. Proceda a colocar en un vaso de precipitación con agua.

3. Mezclar hasta homogenizar la muestra.
4. Colocar el pH chimetro y proceder a leer.

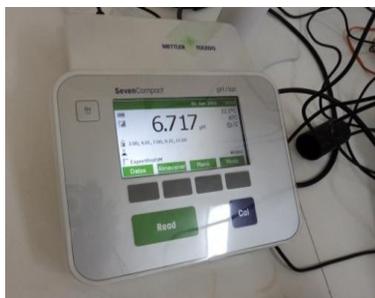


Fig. 13 Equipo para determinación de pH (Mettler Toledo)

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”).

2.5.6 PREPARACION DE SOLUCIONES.

A. SOLUCION DE CROMO:

Preparación de solución de Dicromato de potasio. ($K_2Cr_2O_7$).

Procedimiento:

1. CALCULOS:

$$x = \frac{1l \cdot 1.10 \text{ g Cr} [K_2 Cr_2 O_7]}{[1l][Cr \text{ g}]} =$$

$$x = \frac{1l [1.10 \text{ g Cr}] [2833.99 K_2Cr_2O_7]}{[1l] [51.9961g Cr]} = 0,599\text{gr } K_2 Cr_2 O_7$$

2. Pesar 0,599 gr de $K_2 Cr_2 O_7$.
3. Disolver y aforar en un en un balon de 1000 ml con agua destilada.

PROCEDIMIENTO QUIMICO:

Se utilizo 10 litros de una sal de $K_2Cr_2O_7$ el peso mol es de 294,18 g sal.

Preparación de la concentración inicial de sal de Cr:

$$(1,4437\text{g sal /1 litro}) \times (101,883\text{mg Cr} \times 10^3 /294,18 \text{ sal}) = 500\text{ppm.}$$

$$C_1 = 500 \text{ ppm}$$

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = (C_2 \times V_2) / C_1$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 1 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 10\text{L} = 10.000 \text{ ml}$$

$$C_1 = 500 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 20 \text{ ml}$$

B. SOLUCION DE COBRE:

Solución de Sulfato cúprico pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Procedimiento:

1. CALCULOS.

$$x = \frac{1\text{l}[1.10\text{g Cu}] [\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]}{1\text{l} [63,546 \text{ g}]}$$

$$x = \frac{1\text{l} [1.10 \text{ g Cu}][249.611 (\text{CuSO}_4)5 \text{ H}_2\text{O}]}{[1\text{l}] [63,065 \text{ g Cu}]} = 0,043\text{g CuSO}_4$$

2. Pesar 0,599 g de CuSO_4 .
3. Disolver y aforar en un Balon de 1000 ml con agua destilada.

4. PROCEDIMIENTO QUIMICO:

Se utilizo 10 litros de una sal de CuSO_4 el peso mol es de 294,18 g sal.

Preparación de la concentración inicial de sal de Cu:

$$(1,4437\text{g sal /1 litro}) \times (101,883\text{mg Cu} \times 10^3 / 294,18 \text{ sal}) = 500\text{ppm.}$$

$$C_1 = 500 \text{ ppm}$$

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = (C_2 \times V_2) / C_1$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 1 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 10 \text{ L} = 10.000 \text{ ml}$$

$$C_1 = 500 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 20 \text{ ml}$$

C. SOLUCION DE CADMIO

Solución de Cloruro de Cadmio. (Cd Cl_2)

Procedimiento:

1. CALCULOS

$$x = \frac{1\text{l} [1.10\text{g Cd}][\text{CdCl}_2]}{1\text{l} [\text{Cd}]}$$

$$x = \frac{1\text{l} [1.10 \text{ g Cd}][183.317 \text{ CdCl}_2]}{[1\text{l}] [183.317\text{g Cd}]} = 0,011 \text{ gr CdCl}_2$$

2. Pesar 0,599 gr de Cd Cl_2 .

3. Disolver y aforar en un en un Balon de 1000 ml con agua destilada.

PROCEDIMIENTO QUIMICO:

Se utilizo 10 litros de un solución de cadmio Puro de 1000 ppm el peso mol es de 112.40 g de Cadmio

Preparación de la concentración inicial de Cd:

$$10L \times (16.10^{-3} \text{mg/l}) \times (1000\text{ml}/1000\text{mg}) = 0,16\text{ml}$$

$$0,16\text{ml} \times (1000\text{mg}/1000\text{ml}) = 0,16 \text{ mg/l}$$

$$C_1 = 500 \text{ ppm}$$

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = (C_2 \times V_2) / C_1$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 0,016 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 10L = 10.000 \text{ ml}$$

$$C_1 = 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 0,16 \text{ ml}$$

D. SOLUCION DE NIQUEL.

Solución de Cloruro Férrico. (Ni SO₄) 6H₂O

Procedimiento:

CALCULOS

$$x = \frac{1L [\text{Ni SO}_4]}{1L [\text{Ni}]}$$

$$x = \frac{1l [1.10 \text{ g Fe}] [162.204 \text{ Ni SO}_4]}{[1] [55,845 \text{ Ni g}]} = 0,031\text{gr Ni SO}_4$$

4. Pesar 0,031 gr de Ni SO₄.
5. Disolver y aforar en un en un Balon de 1000 ml con agua destilada.

PROCEDIMIENTO QUIMICO:

Se utilizo 10 litros de una sal de Ni SO₄. 6 H₂O el peso mol es de 262,85 g sal

Preparación de la concentración inicial de sal de Ni:

$$(0,02239\text{g sal} / 0,051 \text{ litro}) \times (58,6934\text{gNi} / 262,85\text{g sal}) \times (1000\text{mgNi} / 1\text{g}) = 100\text{ppm}$$

$$C_1 = 100 \text{ ppm}$$

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = (C_2 \times V_2) / C_1$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 0,05 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 10L = 10.000 \text{ ml}$$

$$C_1 = 100 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 5 \text{ ml}$$

E. SOLUCION DE HIERRO.

Solución de Cloruro Férrico. (Fe Cl₃)

Procedimiento:

CALCULOS

$$x = \frac{1l [\text{Fe Cl}_3]}{1l [\text{Fe}]}$$

$$x = \frac{1l [1.10 \text{ g Fe}] [162.204 \text{ FeCl}_3]}{[1l] [55,845 \text{ Fe g}]} = 0,031 \text{ gr FeCl}_3$$

6. Pesar 0,031 gr de FeCl₃.

7. Disolver y aforar en un en un Balon de 1000 ml con agua destilada.

PROCEDIMIENTO QUIMICO:

Se utilizo 10 litros de una sal de Fe Cl₃. 6 H₂O el peso mol es de 270,30 g sal

Preparación de la concentración inicial de sal de Fe:

$$(0,19358 \text{g sal /1litro}) \times (55,85 \text{gFe /270,30 sal}) (1000 \text{mgFe/1g}) = 40 \text{ ppm}$$

$$C_1 = 40 \text{ ppm}$$

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = (C_2 \times V_2) / C_1$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 0,4 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 10L = 10.000 \text{ ml}$$

$$C_1 = 40 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 100 \text{ ml}$$

F. SOLUCION DE BARIO.

Solución de Cloruro de Bario. (Ba Cl₂).

Procedimiento:

1. CALCULOS:

$$x = \frac{1l[1.1. \text{g Ba}][\text{BaCl}_2]}{[1l] [Ba]}$$

$$x = \frac{1L [1.10 \text{g Ba}][208.233 \text{BaCl}_2]}{[1l] [137,327 \text{g Ba}]} = 0,0166 \text{gr BaCl}_2$$

2. Pesar 0,0166 gr de BaCl₂.

3. Disolver y aforar en un en un Balon de 1000 ml con agua destilada.

PROCEDIMIENTO QUIMICO:

Se utilizo 10 litros de una sal de BaSO₄ el peso mol es de 233,327 g Sal.

Preparación de la concentración inicial de sal de Ba:

$$(0,8495\text{g sal /1 litro}) \times (137,327\text{mgBa} \times 10^3 /233,277\text{g sal}) = 500\text{ppm}$$

$$C_1 = 500 \text{ ppm}$$

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = (C_2 \times V_2) / C_1$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 1 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 10L = 10.000 \text{ ml}$$

$$C_1 = 500 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 20 \text{ ml}$$

G. SOLUCION DE PLOMO.

Procedimiento:

1. CALCULOS:

$$x = \frac{1l [1.10 \text{ g Pb}][\text{Pb}(\text{NO}_3)_2]}{[1l] \quad [\text{Pb}]}$$

$$x = \frac{1l [1.10 \text{ g Pb}][331.20988\text{Pb}(\text{NO}_3)_2]}{[1l] \quad [207.2 \text{ gr Pb}]} = 1.758 \text{ gr Pb}(\text{NO}_3)_4$$

2. Pesar 1,758 gr Pb(NO₃)₄ .
3. Disolver y aforar en un en un Balon de 1000 ml con agua destilada.

PROCEDIMIENTO QUIMICO:

Se utilizo 10 litros de una sal de $Pb(NO_3)_2$ el peso mol es de 262,85 g sal

Preparación de la concentración inicial de sal de Pb:

$$(1,758 \text{ g sal } / 0,05l) \times (207,2 \text{ g Pb } / 262,85 \text{ g sal}) \times (1000 \text{ mg Pb} / 1 \text{ g}) = 100 \text{ ppm}$$

$$C_1 = 100 \text{ ppm}$$

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

$$V_1 = (C_2 \times V_2) / C_1$$

$$V_1 = ?$$

$$C_2 = 0,05 \text{ ppm}$$

$$V_2 = 10L = 10.000 \text{ ml}$$

$$C_1 = 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 5 \text{ ml}$$

2.5.7 ANÁLISIS DE PERMEABILIDAD DE LA FIBRA.

Para evaluar empíricamente el coeficiente de permeabilidad fueron realizadas pruebas de laboratorio a carga constante. El instrumento utilizado fue constituido de una celda de flujo usado como permeámetro, que en su interior contenía la fibra en estudio, con diámetro interno $D = 6.4 \text{ cm}$, altura $L = 15.3 \text{ cm}$. La celda estaba conectada mediante tubos de goma a una botella de Marriot que a través de un tubo ubicado en la parte superior, moviéndole arriba o abajo, se pudo regular la carga hidráulica con la cual se efectuó la prueba a carga constante.

La celda fue conectada de tal manera que el flujo de agua sea de abajo hacia arriba de tal manera que permita la salida de posibles burbujas de aire (figura 14). Antes de iniciar la prueba fueron mojadas las fibra por 24 horas hasta considerarla saturada por completo.



Figura 14: Esquema del equipo usado para la medición de la permeabilidad.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Fijada la carga y comenzado el experimento se anotan para tiempos pre-establecidos los valores de descensos del agua al interno de la columna con respecto al nivel inicial cero. A través de este procedimiento se puede determinar la relación que existe entre la permeabilidad como función de la densidad, que no es otra cosa si no el grado de compactación de la fibra. De manera específica el experimento se llevó a cabo considerando 3 diferentes valores de densidad (160 kg/m^3 , 200 kg/m^3 , 240 kg/m^3) fijando tres diferentes valores de cargas hidráulicas $\Delta H = 10 \text{ cm}$, $\Delta H = 18 \text{ cm}$, $\Delta H = 25 \text{ cm}$.

Los valores de conductividad hidráulica (k) obtenidos son mostrados en el cuadro 8 y considerando en un primer momento la fibra entera y en un segundo momento la fibra tallada con una longitud de 5 cm.

Para el cálculo de la permeabilidad de la fibra de cabuya se utilizó la Ley de Darcy

$$V = k \cdot i$$

$$i = \Delta H / L$$

$$K = (v/i) / 100$$

V = velocidad real (m/s)

i = gradiente hidráulico medio

K = permeabilidad (m/s)

2.5.7 PRUEBAS EN COLUMNA.

Las pruebas en columna permiten determinar los parámetros de proceso en condiciones dinámicas de flujo, es decir, lo más cercanas a la realidad. Además, mediante tales pruebas se caracteriza hidráulicamente el dreno en fibra, individuando la estructura, la textura adecuada y el grado de compactación para garantizar el flujo de agua contaminada y un tiempo de contacto adecuado para el desarrollo de los procesos de retención y degradación del contaminante.

Entre los tipos de metales pesados que determinaran la condición de contaminación para el experimento en análisis se encuentran Cromo, Cobre, Plomo, Cadmio, Hierro, Níquel, Bario. Considerando que no existe en estado esencial estos elementos se decidieron utilizar sales de estos metales en solución.

Tales sales fueron:

- ✓ Dicromato de potasio. \longrightarrow $(K_2Cr_2O_7)$.
- ✓ Sulfato cúprico pentahidratado \longrightarrow $(CuSO_4) \cdot 5H_2O$
- ✓ Cloruro de Cadmio. \longrightarrow $(Cd Cl_2)$
- ✓ Cloruro Férrico. \longrightarrow $(Fe Cl_3)$
- ✓ Cloruro de Bario. \longrightarrow $(Ba Cl_2)$
- ✓ Nitrato de Plomo. \longrightarrow $Pb(NO_3)_4$
- ✓ Sulfato de Níquel. \longrightarrow $(Ni SO_4) 6H_2O$

El esquema del instrumento utilizado para las pruebas de columna es aquel mostrado en figura 15, y el equipo de laboratorio que se utilizó para la experimentación se muestra en la figura 16.

Este consiste en un contenedor de plástico de 10 l una bomba peristáltica modelo Heidolph PD 5101, una serie de tubos en Tygon, una columna en plexiglás de diámetro igual a 1.5'' y 60 cm de largo con sus respectivas tapas de cerrado y unión hidráulica, uniones y adaptadores, frascos para muestreos.

La celda fue conectada de tal manera que el flujo de agua sea de abajo hacia arriba de tal manera que permita la salida de posibles bolas de aire, así además evitando la obstrucción que puede ser creadas por la formación de vías preferenciales del flujo.

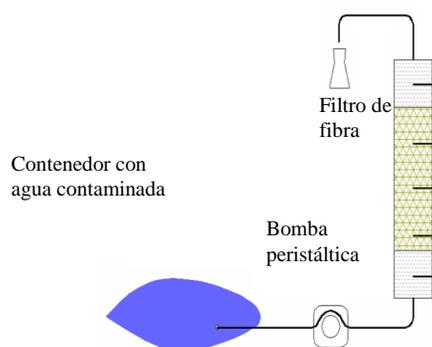


Figura 15. Esquema experimental de Laboratorio.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- "Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación")

Todas las pruebas de columna fueron llevadas a cabo regulando la bomba peristáltica a 5 rpm valor cercano a la velocidad normal de infiltración en el subsuelo. El volumen de solución filtrado fue de aproximadamente 2 litros.

Durante la realización de la prueba se efectúan muestreos temporales en la salida de la columna de filtración, en manera tal de poder obtener el comportamiento de la variación de la concentración en el tiempo, mientras se lleva a cabo el proceso de filtración. Posteriormente se evalúa la capacidad de remoción de la fibra en el tiempo. De manera particular, fueron realizados muestreos a intervalos de 10 minutos cada uno. La primera muestra fue tomada inmediatamente a la primera salida del líquido de la columna.

Un análisis, vía preliminar, sobre la potencial eficacia del proceso de filtración mediante la fibra cabuya se lo puede obtener analizando los valores de las concentraciones determinadas a través del proceso de filtración. De esta manera es posible establecer, conociendo la concentración inicial y final, el porcentaje de remoción, y por lo tanto evaluar la mayor o menor eficiencia que la fibra tiene para cada uno de los metales.



Figura 16. Equipo experimental de Laboratorio.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

3. TOMA DE MUESTRAS.

La toma de muestras se realizó para todas las pruebas de columna de cada contaminante que se pasó por el filtro de cabuya, el procedimiento que se realizó fue el mismo para todas las pruebas y a continuación se detalla:

3.1 Procedimiento:

1. Retire la celda de flujo.
2. Lavar con jabón y un cepillo de dientes la celda de flujo y el tubo utilizado para la prueba.
3. Llenar la celda de flujo con la fibra.
 - 3.1. En la etapa de llenado doblar con las manos pequeños paquetes de fibra del tamaño de una mano, no más grande.
 - 3.2. Los paquetes de fibra se insertan en la celda de flujo dando una ligera presión. No presione demasiado si no, no habrá pérdidas en la parte inferior de la celda.
 - 3.3. Llène completamente la celda.
4. Coloque la bomba en el lado izquierdo de la celda y el lugar de recoger las muestras en el lado derecho.
5. Conectar el fondo del tubo de la celda con el tubo de la bomba peristáltica.
6. Colocar un tubo en la salida de la celda de flujo para recoger muestras.
7. Colocar la jarra a la izquierda de la bomba.
8. Sacuda el recipiente a continuación con la solución contaminada a homogeneizar y para evitar que eventuales depósitos de compuestos precipitados en la parte inferior.

9. Recoger la solución contaminada que se usa como blanco. Ponga una etiqueta en el tubo.
10. Para la prueba dura aproximadamente 10 litros de solución.
 - 10.1. Coloque la jarra de 10 litros de solución.
 - 10.2. Asegúrese de que el tubo de la bomba está siempre bajo la cabeza y entonces no aspirar aire. Si este es el caso, cuando la solución se va a acabar, incline ligeramente la jarra.
11. Encienda la bomba de 1.5 ml/s
 - 11.1. Compruebe que la dirección de bombeo es correcta.
12. Esperar la saturación completa de la celda. El tiempo depende de la cantidad de agua absorbe las fibras.
13. Tan pronto como el agua comienza a fluir fuera de la celda para recoger la primera muestra y poner una etiqueta en el tubo.
14. Cuando haya terminado de recoger la primera muestra después de 5 minutos y luego recoger la siguiente muestra.
15. Después de 5 minutos de la muestra para recoger la muestra tercera y colocar la etiqueta en el tubo.

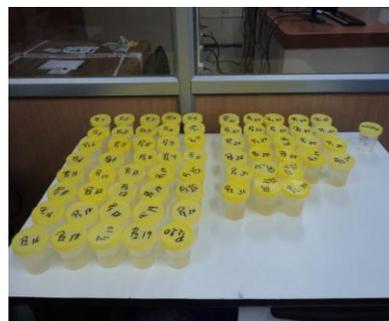


Fig. 17. Recolección de muestras para análisis.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

4 ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Los análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Servicios Ambientales (L.S.A) de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, utilizando como equipo el espectrofotómetro HACH que se muestra en la fig. 18, manejando el manual de métodos HACH, y siguiendo los métodos estandarizados para análisis.



Fig. 18 Espectrofotómetro HACH (DR 5000).

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

4.1 Análisis de Cobre:

Sustancia:

- Reactivo para cobre

Equipos:

- Celda de vidrio.
- Equipo HACH.

Procedimiento:

- Seleccionar en la pantalla: Programa almacenados para Cobre.
- Llenar la celda de 10ml con muestra.
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cobre Cu Ver 1 en polvo.
Agitar, con rotación, para mezclar.

- Dejar reposar por 30 minutos.
- Llenar una celda de 10 ml con la muestra, encerrar el equipo.
- Colocar la muestra y leer los resultados.



Fig.19. Análisis de Laboratorio de cobre.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

4.2 Análisis de Cromo:

Sustancia:

- Reactivo para cromo

Equipos:

- Celda de vidrio.
- Equipo HACH.

Procedimiento:

- Seleccionar en la pantalla: Programa almacenados: Cromo total.
- Llenar la celda de 10ml con muestra.
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cobre Chroma Ver 3 en polvo. Agitar, para mezclar y disolver.
- En presencia de cromo hexavalente, aparecerá un color violeta.
- Dejar reposar por 5 minutos.

- Llenar una celda de 10 ml con la muestra, encerar el equipo.
- Colocar la muestra y leer los resultados.



Fig.20. Muestras para análisis de Cromo.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación.”)

4.3 Análisis de Cadmio:

Sustancia:

- Reactivo para Cadmio.

Equipos:

- Celda de vidrio.
- Equipo HACH.
- Embudo de separación.

Procedimiento:

- Prenda el equipo y seleccione todos los programas.
- Seleccione el programa para cadmio
- Colocar 250 ml de muestra en un embudo de separación de 500 ml.
- Añada el contenido de Bufferr Power Pillow, agite para disolver.
- Añada 30 ml de cloroformo , agite para homogenizar la mezcla
- Añada 20 ml de Hidróxido de Sodio al 50% , adicionalmente ponga 0,1 gramos de cianuro de potasio agite vigorosamente por 15 segundos.

- Añada el contenido de reactivo Dihti Ver en el balón de separación de 500ml, tape e invierta el balón varias veces, agite fuertemente hasta homogenizar la muestra durante 60 segundos.
- Espere 5 minutos hasta que separe la solución.
- Inserte un tapón de algodón en la salida del embudo de separación, y drenar lentamente la parte inferior (cloroformo) coloque una celda de 25 ml para recolectar la muestra.
- En una celda de 25 ml coloque 25 ml de cloroformo.
- Proceda a colocar la celda con el blanco en el equipo y encere.
- Ponga la celda con la muestra recolectada, cierre la tapa del equipo y proceda a leer.



Fig. 21 Análisis de Cadmio.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

4.4 Análisis de Níquel:

Sustancia:

- Reactivo para Níquel.

Equipos:

- Celda de vidrio.
- Equipo HACH.

Procedimiento:

- Seleccionar en la pantalla: Programa almacenados: Níquel heptoxime method.
- Añada 300 ml de muestra en un embudo de separación de 500ml.

- Añada el contenido de Níquel 1 reactivo en polvo y sacuda para mezclar.
- Luego añada el contenido de Níquel 2 reactivo en polvo, tapar el embudo y agitar para mezclar.
- Después añada 10 ml de cloroformo e invertir el embudo abrir la llave de paso para ventilar.
- Cerrar la llave de paso y mezcle durante 30 segundos.
- Para separar las capas insertar un pequeño tapón de algodón en el tubo de salida del embudo y drenar la capa de cloroformo en una celda de 25 ml.
- Repita los pasos 8 y 11 y añada 10 ml de cloroformo.
- Llenar una celda 25 ml de cloroformo que es el blanco, coloque en el equipo cierre la tapa del equipo la pantalla mostrara encerando.
- Colocar la muestra preparada en el equipo, cierre la tapa del equipo la pantalla mostrara la lectura.



Fig. 22. Muestras de Níquel.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

4.5 Análisis de Bario:

Sustancia:

- Reactivo para Bario.

Equipos:

- Celdas de vidrio.
- Equipo HACH.

Procedimiento:

- Realizar una calibración por el usuario para aportar con un resultado más preciso.
- Introducir el numero programa almacenado para Bario (Ba)
- Llenar una celda de 25 ml con muestra.
- Añada el contenido de reactivo Bari Ver 4 en la celda agitar para mezclar.
- Poner en otra celda 25 ml de muestra que será el blanco.
- Proceda a poner el blanco en el equipo y encerar.
- Luego de 5 minutos poner la celda con la muestra para leer.
- Cierre la tapa del equipo, la pantalla mostrara la lectura.



Fig.23 Muestras de bario.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

4.6 Análisis de Hierro:

Sustancia:

- Reactivo para Hierro.

Equipos:

- Celdas de vidrio.
- Equipo HACH.

Procedimiento:

- Seleccionar en la pantalla: Programa almacenados para hierro TPTZ (método para determinar hierro.)
- Llenar la celda de 10ml con muestra.
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo para hierro TPTZ en polvo. Agitar durante 30 segundos, para mezclar.
- Luego añadir 10 ml de agua destilada en la celda que es el blanco.
- Añada el contenido de reactivo para hierro TPTZ agitar por 30 segundos hasta mezclar.
- Insertar la celda que contiene el blanco cierre la tapa y proceda a encerrar el equipo.
- Prepare la celda con la muestra ponga en el equipo y proceda a leer, el resultado.

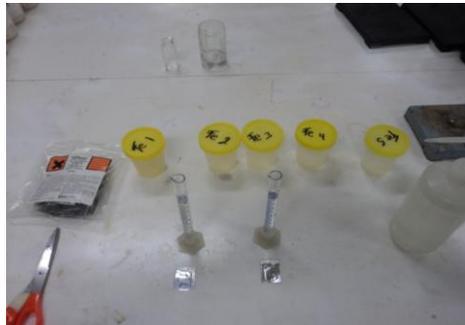


Fig. 24. Muestras de Hierro para Análisis.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- "Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación"

4.7 Análisis de Plomo.

Sustancia:

- Reactivo para Plomo.

Equipos:

- Celdas de vidrio.
- Equipo HACH.

Procedimiento:

- Seleccionar en la pantalla: Programa almacenados para Plomo.
- Coger 250 ml de muestra.
- Transfiera el contenido de la muestra en un embudo de separación de 500 ml
- Añada el contenido de Buffer Power Pillow agite hasta disolver.
- Añada 50 ml de cloroformo, adicionalmente ponga el contenido de un sobre de Dithi Ver Metal agente reactivo para metales.
- Añada 30 ml
- Añada 5 ml de Hidroxido de Sodio 5 normal, tape el embudo de separación y agite para mesclar y disolver.
- Siga añadiendo el Hidróxido de Sodio 5 normal hasta que tome una coloración naranja.
- Añada 1.0 gramos de cianuro de potasio, agite hasta disolver.
- Inserte algodón en la salida del embudo de separación.
- El blanca a utilizar será con cloroformo en una celda de 25 ml.
- Llenar la celda de 10ml con muestra., proceda a la lectura el resultado será en ug/l



Fig. 25. Análisis de Plomo.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 RESULTADOS HUMEDAD DE LA FIBRA:

Porcentaje de humedad.	
# Muestra	% Humedad
1	0.9
2	0.8
3	0.8
4	0.9
5	0.7
6	0.9
7	0.8
8	0.69
9	0,76
10	0,86
Promedio	0.81

Cuadro 4 Resultados Humedad.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

Como se puede observar en el cuadro 4 los porcentajes de Humedad de la fibra luego de realizar los respectivos análisis en el laboratorio se logra establecer que la humedad de la fibra promedio es de 0.81%, entendiéndose de esta forma que la fibra contiene un porcentaje mínimo de agua en su estructura, debido a la presencia de los grupos hidroxilo y puentes de hidrogeno, cabe mencionar que la fibra utilizada para la experimentación se presenta a simple vista que no contiene humedad.

3.2 RESULTADOS DEL DIÁMETRO DE LA FIBRA:

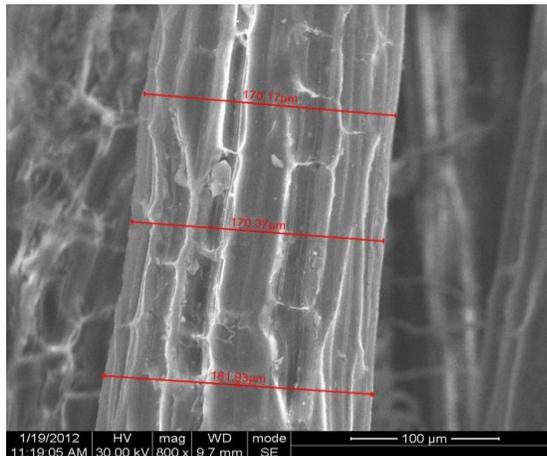


Fig.27 Vista diámetro de la Fibra.

Fuente: “Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorios de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa.

Interpretación:

En la figura 27 se puede observar el diámetro a lo largo de la fibra de cabuya indicando valores de 170,17 μm, 170,37 μm, 181,93 μm llegando a tener un promedio de 174,16 μm.

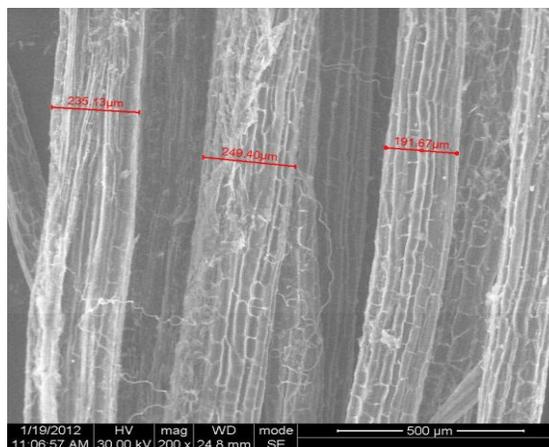


Fig. 28 Diámetros de fibra.

Fuente: “Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la

construcción de dos diversos prototipos de laboratorio de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa.

Interpretación:

En la Figura 28 se puede determinar el diámetro está en 235,13µm , 249,40µm, 191,67µm llegando a tener un promedio de 225,4µm.

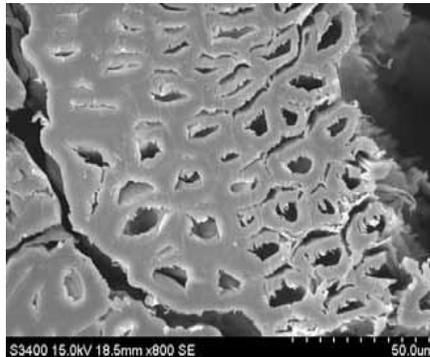


Fig. 29 Vista del corte de la fibra.

Fuente: “Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorio de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa.

Interpretación:

En la figura 29 se puede observar el corte del diámetro de la fibra vista de la parte superior.

3.3 RESULTADOS DE LIGNINA.

Porcentaje de lignina.	
# Muestra	% Lignina.
1	10.31
2	10.46
3	11.45
4	10.56
5	10.43
6	10.21

7	11.32
Promedio	10.67

Cuadro 5: Porcentaje de Lignina.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

La presencia de lignina en la fibra es similar en todos los ensayos realizados en el Laboratorio obteniendo así un porcentaje promedio de 10.68%, cabe mencionar que después de la celulosa la lignina es el componente principal de las fibras.

Debemos mencionar también que la composición elemental de la lignina varía entre el 65% de carbono, 5 - 6,2 % de hidrogeno y el resto oxigeno.

3.4 RESULTADOS DE CENIZAS.

# Muestras	%Cenizas
1	1.799
2	1.675
3	1.546
4	1.678
5	1.768
6	1.897
7	1.675
8	1.875
9	1.567
10	1.768
Promedio	1.724

Cuadro 6 Porcentaje de cenizas de la Fibra.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

Los datos obtenidos durante toda la experimentación fueron similares en cada uno de los ensayos realizados con la fibra obteniendo un valor promedio de cenizas de 1.55%.

3.5 RESULTADOS DE PH DE LA FIBRA.

# Pruebas	Ph
1	6.717
2	6.879
3	6.546
4	6.345
5	6.675
6	6.879
7	6.978
8	6.687
9	6.576
10	6.897
Promedio	6,717

Cuadro 7. pH de la Fibra.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

Según los valores obtenidos en los ensayos realizados para determinar el pH de la fibra obtuvimos un resultado de ph neutro ya que presenta valores entre 6.345 y 6.978.

3.6 RESULTADOS DE PERMEABILIDAD DE LA FIBRA.

A continuación se muestran los resultados de las pruebas de permeabilidad de la fibra de Cabuya blanca (Furcraea Andina).

Densidad kg/m ³	k (m/s)		
	$\Delta H = 10$ Cm	$\Delta H = 18$ Cm	$\Delta H = 25$ Cm
146	1.74E-04	6.59E-05	2.99E-05
200	7.30E-05	4.46E-05	3.66E-05
240	1.49E-04	7.08E-05	4.83E-05

Cuadro 8. Resultados de permeabilidad de la fibra.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Tabla estandarizada de permeabilidad para suelos.

Terreno	K (m/s)
grava limpia	$10^{-2} - 1$
Arena y grava	$10^{-5} - 10^{-2}$
Arena muy fina	$10^{-6} - 10^{-4}$
Limo	$10^{-8} - 10^{-6}$
Arcilia Homogenea	$< 10^{-9}$
Arcilla sobreconsolidada	$10^{-8} - 10^{-4}$

Cuadro 9. Tabla de permeabilidad para suelos.

Fuente: Hidrología subterránea Emilio Custodia Tomo 1

Interpretación: De acuerdo con los datos obtenidos en las pruebas de permeabilidad de laboratorio con la fibra, al comparar con la tabla de permeabilidad para suelos obtenemos como resultado que a la fibra se la puede utilizar en suelos de características para arena muy fina.

3.7 RESULTADOS DE RETENCIÓN DE METALES.

RESULTADOS DEL CROMO:

Se utilizo 10 l de la sal de Cr y se hizo pasar por una columna de 5cm de diámetro por una altura de 32cm de fibra de cabuya Blanca (furcraea andina) el experimento se

realizo pasando por la columna dosificando con una bomba peristáltica a 1,5ml/s se recolectaron ocho muestras las 7 primeras cada 5 minutos y la ultima luego de 15 minutos dando como tiempo total 50 minutos.

Concentración inicial 1ppm antes de ingresar en la columna.

Nº	TIEMPO (min)	CONCENTRACIÓN MUESTRA (mg/l)
1	5	0.66
2	10	0.66
3	15	0.64
4	20	0.63
5	25	0.66
6	30	0.78
7	35	0.70
8	50	0.70

Cuadro 10. Datos obtenidos de Cromo.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

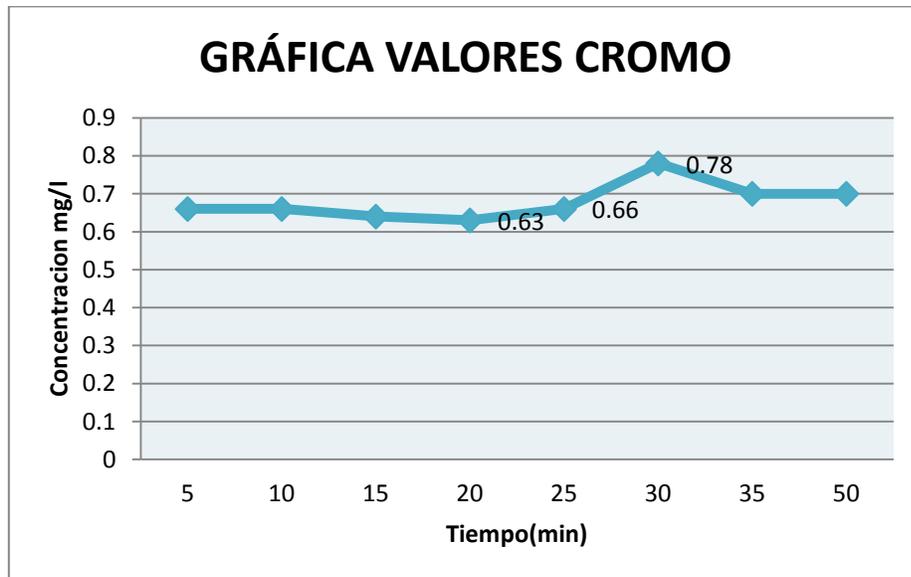


Fig. 30 Gráfica de valores obtenidos de Cromo.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

Para determinar la concentración final después del tratamiento biológico se ilustra en la grafica que corresponden a las muestras tomadas durante la experimentación.

Los valores de Cromo registran valores promedios entre 0,6 mg/l y 0.69 mg/l y el valor más alto es de 0,78 mg/l, y el valor más bajo es de 0,63

En cuanto se refiere a este parámetro, analizando así una eficiencia de remoción de un 30% a 35 % por la fibra.

Para el caso del como el tulas manifiesta que el valor aceptable es de 0,5 mg/l para descargas a un cuerpo de agua Dulce. Ver Anexo 1.

RESULTADOS DE COBRE:

Se utilizo 10L de la sal de Cu y se hizo pasar por una columna de 5cm de diámetro por una altura de 32cm de fibra de cabuya Blanca (*Furcraea andina*) el experimento se realizo pasando por la columna dosificando con una bomba peristáltica a 1,5 ml/s se recolectaron ocho muestras las 7 primeras cada 5 min y la ultima luego de 15 minutos dando como tiempo total 50 minutos.

Nº	TIEMPO (min)	CONCENTRACIÓN MUESTRA (mg/l)
1	5	0.66
2	10	0.66
3	15	0.64
4	20	0.63
5	25	0.66
6	30	0.78
7	35	0.70
8	50	0.70

Cuadro 11 Datos obtenidos de Cobre.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)



Fig. 31 Gráfica de valores obtenidos de Cobre.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

Los valores de Cobre registrados durante la experimentación registran valores promedios entre 0,6 mg/l y 0.69 mg/l, el valor más alto es de 0,79 mg/l y el valor final que se obtuvo de la experimentación fue de 0,05 mg/l en cuanto se refiere a este parámetro, estos valores se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el texto unificado de legislación secundaria ambiental TULAS para descargas a un cuerpo de agua Dulce. Ver Anexo 1.

Hablando en porcentajes de remoción la fibra retiene un 94% a 95% de este metal.

RESULTADOS DEL CADMIO:

Utilizando 10L de Cd se paso por una columna de 5cm de diámetro por una altura de 32 cm de fibra de Cabuya Blanca (*Furcraea andina*) el experimento se realizo pasando

por la columna dosificando con una bomba peristáltica a 1,5 ml/s se recolectaron ocho muestras dando como tiempo total 60 minutos.

Nº	TIEMPO (min)	CONCENTRACIÓN MUESTRA (ug/l)
1	0	4
2	5	4.7
3	10	1.5
4	15	1.1
5	20	0.6
6	25	1.8
7	30	1.8
8	60	2.1

Cuadro 12 Datos obtenidos de Cadmio.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

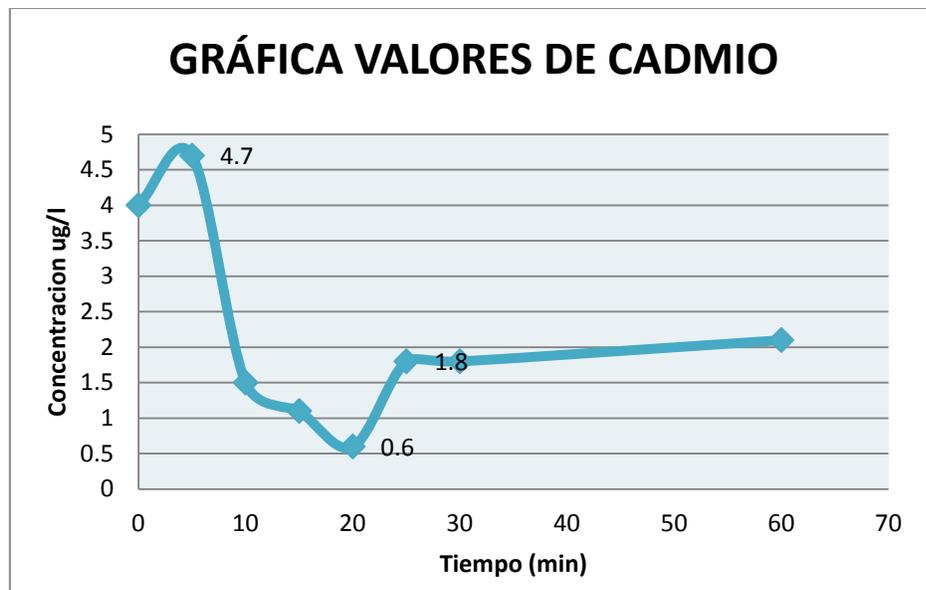


Fig. 32. Gráfica de valores de Cadmio.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

En cuanto se refiere a los valores de Cadmio iniciales fueron de 4 ug/l y 4.7 ug/l así también valores intermedios de 1, 5 ug/l y 1,1 ug/l y la curva de retención obtenida nos proyecta valores finales de 2.1 ug/l llegando así a obtener un porcentaje de retención de 75 a 85% de contaminante.

En cuanto se refiere a los parámetros del TULAS para Cadmio los datos obtenidos están dentro de los parámetros establecidos, para descargas a un cuerpo de agua Dulce. Ver Anexo 1.

Determinando de esta forma que la fibra retiene una buena cantidad de este contaminante.

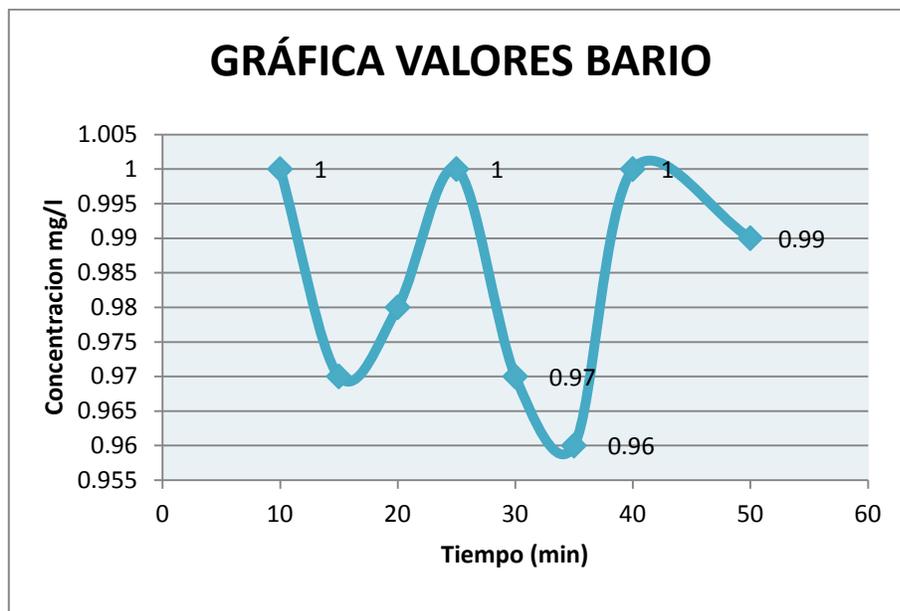
RESULTADOS DEL BARIO:

Se utilizo 10L de la sal de Ba y se hizo pasar por una columna de 5cm de diámetro por una altura de 32cm de fibra de Cabuya Blanca (*furcraea andina*) el experimento se realizo pasando por la columna dosificando con una bomba peristáltica a 1,5 ml/s se recolectaron ocho muestras la primera a 10minutos las 6 siguientes cada 5 minutos y la ultima luego de 10 minutos dando como tiempo total 50 minutos.

Nº	TIEMPO (min)	CONCENTRACIÓN MUESTRA (mg/l)
1	10	1
2	15	0.97
3	20	0.98
4	25	1
5	30	0.97
6	35	0.96
7	40	1
8	50	0.99

Cuadro 13 Datos obtenidos de Bario.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)



Grafica 33. Gráfica de valores obtenidos de Bario.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

En cuanto se refiere al Bario determinamos un valor alto de 1 mg/l que fue la concentración inicial preparada también valores intermedios de 0,97 mg/l y 0,96 mg/l y un valor final de 0,99 mg/l analizando de esta forma los valores se manifiestan que la fibra no retiene el contaminante, por cuanto los valores obtenidos y representados en la gráfica no se detectan una variación significativa en el valor que se preparó la concentración inicial, al contrario se obtiene una gráfica donde los valores se repiten en algunas ocasiones.

RESULTADOS DEL HIERRO:

Se utilizó 10L de la sal de Fe y se hizo pasar por una columna de 5 cm de diámetro por una altura de 32cm de fibra de Cabuya Blanca (*furcraea andina*) el experimento se realizó pasando por la columna dosificando con una bomba peristáltica a 1,5 ml/s se recolectaron nueve muestras la primera al salir el contaminante por el tubo luego

las 7 siguientes cada 5 minutos y la ultima luego de 10 minutos dando como tiempo total 50 minutos.

Concentración inicial 0,4 ppm antes de ingresar en la columna.

Nº	TIEMPO (min)	CONCENTRACIÓN MUESTRA (mg/l)
1	0	0.331
2	5	0.309
3	10	0.242
4	15	0.138
5	20	0.071
6	25	0.061
7	30	0.044
8	35	0.021
9	50	0.009

Cuadro 14. Datos obtenidos de Hierro.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

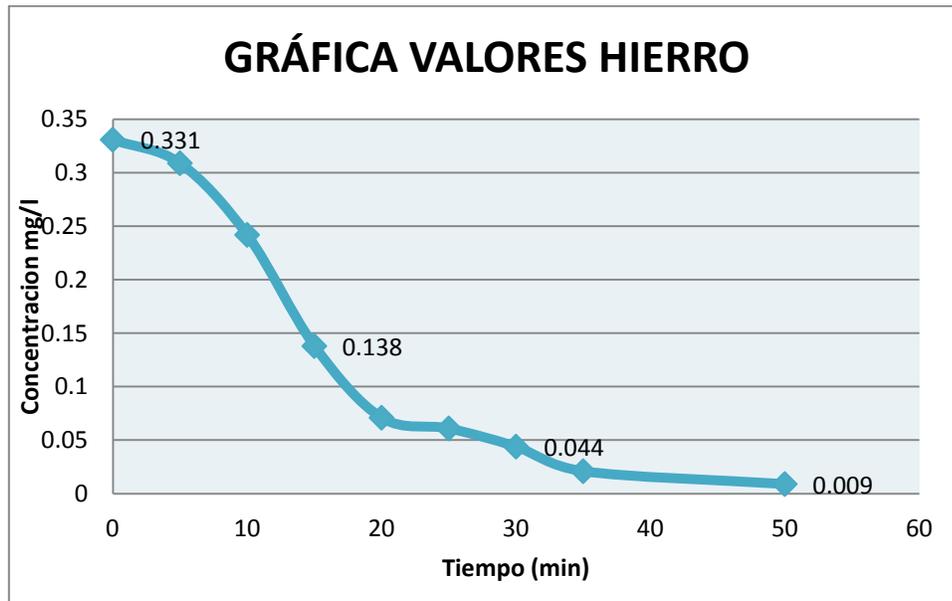


Fig. 34 Gráfica de valores obtenidos de Hierro.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

Los valores registrados en la grafica en cuanto se refiere al Hierro podemos apreciar un valor mayor de 0,331 mg/l, obteniendo también valores promedios de 0,138 mg/l y 0,044 mg/l y finalmente llegando a un valor final de 0,009 mg/l determinado así que la concentración del contaminante baja notablemente en función del tiempo y se puede observar que la fibra si retiene el contaminante llegando a remover un 90% a 95 % de contaminante metálico.

Comparando con los límites del Tulas en cuanto al parámetro hierro el límite permisible es de 10 mg/l para descargas a un cuerpo de agua Dulce. Ver Anexo 1. y el valor obtenido está por debajo de los límites permisibles obteniendo así un resultado positivo.

RESULTADOS DEL NIQUEL:

Se utilizo 10L de la sal de Ni y se hizo pasar por una columna de 5 cm de diámetro por una altura de 32cm de fibra de Cabuya Blanca (*furcraea andina*) el experimento se realizo pasando por la columna dosificando con una bomba peristáltica a 1,5 ml/s se recolectaron nueve muestras la primera al momento de salir el contaminante las 7 siguientes cada 5 min y la ultima luego de 10 min dando como tiempo total 50 min.

N°	TIEMPO (min)	CONCENTRACIÓN MUESTRA (mg/l)
1	0	0.03
2	5	0.02
3	10	0.01
4	15	0.02
5	20	0.01
6	25	0.01
7	30	0.01
8	35	0.01
9	50	0.01

Cuadro 15. Datos obtenidos de Níquel.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- "Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación")

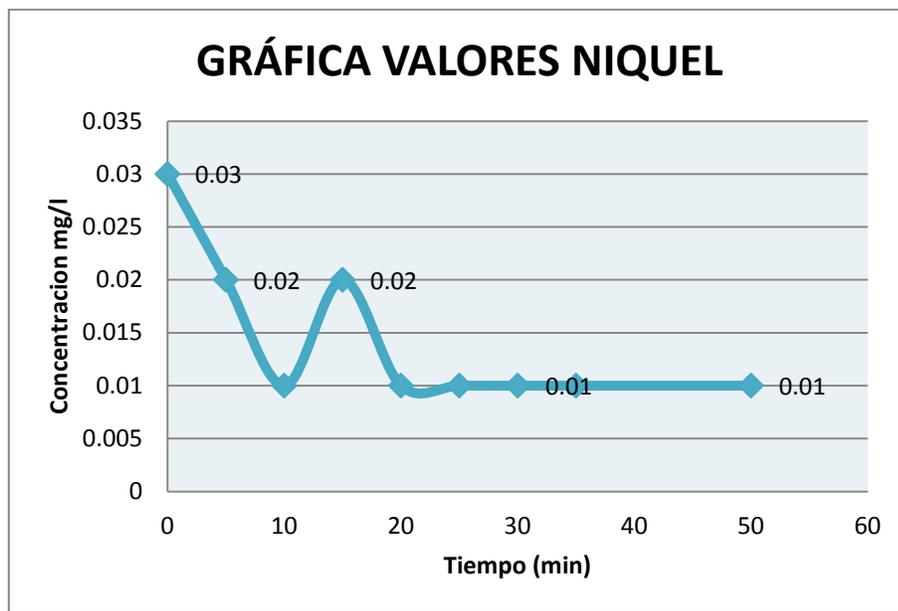


Fig. 35 Gráfica de valores obtenidos de Níquel.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- "Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación")

Interpretación:

En cuanto se refiere a la grafica de níquel los valores que se obtuvieron fueron como el más alto de 0,03 mg/ Lt, valores intermedios de 0,02, llegando a obtener un valor final de 0,01 mg/ Lt determinando así una variación significativa de concentración de níquel.

En términos de valores de remoción en porcentajes se obtuvo un valor de 80% a 85% Los limites del Tulas para descargas a un cuerpo de agua Dulce. Ver Anexo 1, para Níquel es de 2.0 mg/l y después del tratamiento obtenemos un valor más bajo que este, lo cual se recapitula como aceptable y llegando a determinar una buena eficiencia de la fibra para este caso.

RESULTADOS DEL PLOMO.

Se utilizo 10 L de la sal de Pb y se hizo pasar por una columna de 5 cm de diámetro por una altura de 32 cm de fibra de Cabuya Blanca (*furcraea andina*) el experimento se realizo pasando por la columna dosificando con una bomba peristáltica a 1,5 ml/s

se recolectaron nueve muestras la primera al momento de salir el contaminante las 7 siguientes cada 5 minutos y la ultima luego de 10 minutos dando como tiempo total 50 minutos.

Nº	TIEMPO (min)	CONCENTRACIÓN MUESTRA (mg/lt)
1	0	0.0092
2	5	0.0010
3	10	0.0018
4	15	0.0008
5	20	0.0016
6	25	0.0012
7	30	0.0026

Cuadro 16. Datos obtenidos de Plomo.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

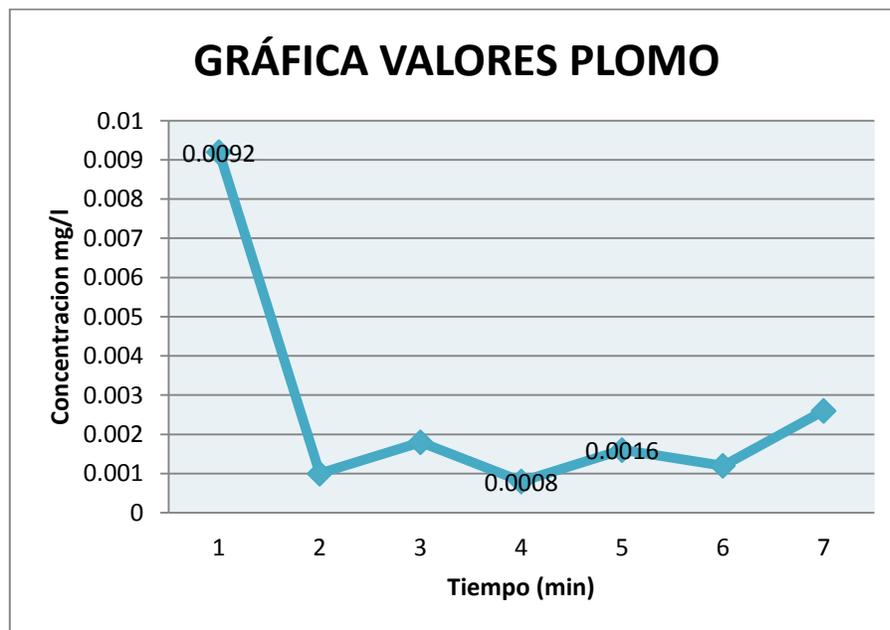


Fig. 36 Gráfica de valores obtenidos de Plomo.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación”)

Interpretación:

De acuerdo a los datos obtenidos e ilustrados en la grafica para el caso del plomo nos muestra el valor más alto de 0,0092 mg/l, cabe mencionar que este valor es el primer

valor que se tomo en la experimentación, y a medida que el contaminante fue pasando por la fibra se observa cómo va reduciendo do la concentración obteniendo valores promedios de 0,0016 y 0,0015 mg/l y finalmente se llega a una concentración final de 0,0008 mg/ l, determinando así un porcentaje de remoción del 94 %.

Los valores que se encuentran registrados comparándolos con el tulas para descargas a un cuerpo de agua Dulce. Ver Anexo 1, están por debajo del rango de límites permisibles.

El porcentaje de remoción de cada uno de los contaminantes se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{in} \cdot V_{in} - C_{out}(V_{col} + V_{out})}{C_{in} \cdot V_{in}} \cdot 100$$

Donde:

C_{in} = Concentración inicial [ML^{-3}];

V_{in} = Volumen inicial [L^3];

C_{out} = Concentración final [ML^{-3}];

V_{out} = Volumen final [L^3].

De los valores en el cuadro 9, se puede evidenciar la reducción de la concentración de cada uno de los contaminantes, del análisis de estos se observa que existe una elevada capacidad de remoción para ciertos compuestos que muestran valores de porcentajes cercanos al 100%.

Metal Contaminante	% Remoción
Cromo (Cr)	30% - 37%
Cadmio (Cd)	75 %-85 %
Cobre(Cu)	94 %-95 %

Plomo (Pb)	94.90 %
Bario (Ba)	0 %
Hierro (Fe)	90 %-95 %
Niquel (Ni)	80 %-85 %

Cuadro 17: Porcentaje de remoción utilizando la fibra cabuya.

Fuente: José Baldeón (L.S.A- "Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando la fibra de cabuya como alternativa de biorremediación")

Interpretación:

De los valores del cuadro, se puede evidenciar la reducción de la concentración de cada uno de los contaminantes, del análisis de estos observa que existe una elevada capacidad de remoción que muestran valores de porcentajes cercanos al 100%, también debemos mencionar que para el caso del bario existió una excepción ya que este contaminante no fue retenido por la fibra.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

La contaminación del agua con metales pesados es un problema ambiental de gran importancia en todo el mundo y en la región ya que pone en riesgo la salud humana, el agotamiento de éste recurso, y el deterioro ambiental de los ecosistemas.

La escasez de suministro de agua y la baja calidad de ésta, junto con la falta de sistemas de saneamiento de aguas residuales eficaces, sigue siendo aún en la actualidad un grave problema de salud pública en muchos países del mundo y también de Ecuador, actualmente algunos grandes ríos de nuestro país y numerosos cursos de agua de menor caudal se encuentran gravemente contaminados por ser utilizados como cuerpos receptores de aguas residuales urbanas e industriales.

Cabe destacar el grupo de los metales pesados tanto por la elevada peligrosidad de algunos de ellos como por el incremento de su presencia en las aguas, como consecuencia fundamentalmente, del aumento de la actividad industrial en las últimas décadas. Los organismos vivos necesitan concentraciones variables de elementos metálicos esenciales, como el hierro (Fe), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el níquel (Ni) y el cobalto (Co), y son indispensables para el correcto funcionamiento de su metabolismo celular. En cambio estos metales pueden resultar tóxicos para los seres vivos cuando están presentes en concentraciones superiores a las necesarias.

El objetivo principal del trabajo fue la caracterización de la fibra cabuya blanca como potencial medio reactivo para la remediación de metales pesados. De estudios científicos realizados anteriormente se ha demostrado que la lignina, componente de la fibra cabuya y de otras fibras naturales, tiene buena capacidad de remoción de metales pesados.

Es importante señalar que la presente experimentación necesita mayores investigaciones encaminadas a la comprensión del comportamiento de la fibra y principalmente del tiempo de vida útil dentro de un proceso de degradación natural.

Con la finalidad de hacer una caracterización más precisa de la fibra como agente reactivo, fueron realizadas pruebas en columna haciendo pasar soluciones de cadmio, hierro, cromo, bario, cobre, plomo y níquel a través de la fibra manualmente extraída. Interpretando los resultados de la concentración obtenidos después de los test de filtración se evidencia como el conjunto de fibras incrementan la reducción de la concentración y por lo tanto se observa la gran eficiencia en términos de remoción de contaminantes.

En todos los casos analizados, de hecho, se observa una alta eficiencia de remoción con una significativa reducción de la concentración de cada uno de los contaminantes. En los casos analizados Cromo (Cr), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Hierro (Fe), hay una reducción significativa de la concentración de cada uno de los contaminantes obtenida a partir de las pruebas experimentales muy cercana al 100%, así también debemos mencionar los resultados con el Bario (Ba) los cuales nos indican que la fibra no retuvo este contaminante.

En términos generales, se puede establecer que la fibra cabuya podría ser un buen material reactivo a ser usado para la degradación de aguas contaminadas con agentes metálicos.

De hecho, la cabuya blanca contiene una cantidad total de lignina comparable a otras fibras naturales, a este compuesto se puede atribuir la efectividad en la remoción de metales pesados. Además, los resultados obtenidos pueden brindar ventajas de tipo competitivo, considerando las ventajas económicas para la extracción de la fibra y su fácil localización.

Sin embargo, nuevas investigaciones son necesarias para tener una mejor comprensión de las características de la fibra cabuya y su comportamiento en particular en largos lapsos, para su posterior uso de la fibra cabuya.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- Interpretando los resultados de la concentración obtenidos después de los análisis de laboratorio se evidencia notablemente que hay una reducción de la concentración y por lo tanto se observa la gran eficiencia en términos de remoción de metales pesados que fueron objeto de estudio de esta investigación.

Metales objeto de estudio	Concentración antes del tratamiento	Concentración después del tratamiento.
Cromo	1mg/l	0,7 mg/l
Cobre	1mg/l	0,7 mg/l
Plomo	1mg/l	0,0026mg/l
Cadmio	1mg/l	2,1 ug/l
Hierro	1mg/l	0,009mg/l
Bario	1mg/l	0,99mg/l
Níquel	1mg/l	0,01

- En los casos analizados de Cromo (Cr) 30%-37% de retención, Cobre (Cu) 94%-95% de retención, Plomo (Pb) 94.90% de retención, Cadmio (Cd) 75%-85% de retención, Hierro (Fe) 90%-95% de retención y Níquel (Ni) 80%85% de retención, de hecho, se observa una alta eficiencia de remoción cercana al 100%, con una significativa reducción de la concentración de cada uno de los contaminantes mencionados, para el caso del Bario (Ba) 0% de retención no fue el mismo ya que analizando los datos obtenidos no existió disminución de la concentración inicial que fue preparada.

- Con la utilización la fibra de la cabuya (*Furcraea Andina*) como material reactivo, ofrecer ventajas de tipo económico, entre otras cosas, a su fácil extracción y localización. Es importante señalar que la presente experimentación necesita mayores investigaciones encaminadas a la comprensión del comportamiento de la fibra, principalmente del tiempo de vida útil en el proceso de biorremediación.

- De forma general se determina que la Fibra de Cabuya (*Furcraea Andina*) es un agente reactivo que retiene metales pesados y se la puede considerar como un efectivo tratamiento de Biorremediación.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Es procedente realizar nuevas investigaciones con diferentes fibras naturales para determinar su eficiencia de remoción de contaminantes presentes en aguas, y así obtener más información sobre las fibras naturales.
- Es recomendable para futuros trabajos realizar pruebas con aguas procedentes de las industrias de Curtiembres e Industrias Petroleras y así poder determinar la eficiencia de la fibra en las mismas.
- Combinar este tipo de tratamiento con otros tratamientos químicos o físicos para mejorar el proceso de depuración de aguas residuales con presencia de metales pesados.
- Dentro de las líneas de investigación para los estudiantes promover la biorremediación ya que esta resulta de bajo costo a los tratamientos convencionales que se conoce en el país.
- Realizar análisis bromatológicos de la fibra para determinar con exactitud el elemento que retiene estos metales.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Título de la propuesta

Construcción de una barrera reactiva permeable como alternativa de biorremediación en medios porosos contaminados con metales pesados.

6.2 Introducción

La contaminación de suelos y aguas subterráneas por metales e hidrocarburos son los principales problemas medioambientales tanto en los países industrializados como en los en vías de desarrollo (Riley et al, 1992). Existen diversas técnicas tradicionales de recuperación de acuíferos contaminados, tanto ex situ como in situ, entre las que se encuentra el bombeo del agua contaminada y posterior tratamiento en superficie, la inyección de soluciones acuosas con reactivos, la inyección de aire con la finalidad de eliminar las sustancias volatilizables, barreras reactivas semi- permeables etc. En particular, las técnicas a utilizar serán elegidas en cada caso en función de las características del acuífero y del tipo de contaminante que debe ser eliminado.

La barrera reactiva permeable (PRB) es una alternativa eficaz a los métodos de reparación convencionales para la recuperación de aguas subterráneas que ha ganado popularidad, debido a su eliminación eficiente de contaminantes y a sus bajos costos de mantenimiento (Jun et al., 2008). Este tipo de técnica es la que se propone tratar dentro de esta investigación.

El concepto de PRB es relativamente simple: material reactivo colocado en el subsuelo, para interceptar un penacho contaminado que se mueve a través de él en pendiente natural (Zolla et al, 2007.). A medida que el agua subterránea pasa a través de la barrera los procesos físicos y químicos que ocurren transforman y/o inmovilizan

los contaminantes convirtiéndolos en especies menos perjudiciales (Gillham et al, 1994;. Orth et al, 1996, 1998.). En particular, la barrera reactiva permeable (PRB) en lugar de limitar la migración de la pluma contaminante, proporciona una dirección preferencial, donde el contaminante se traslada debido a la pendiente natural del acuífero.

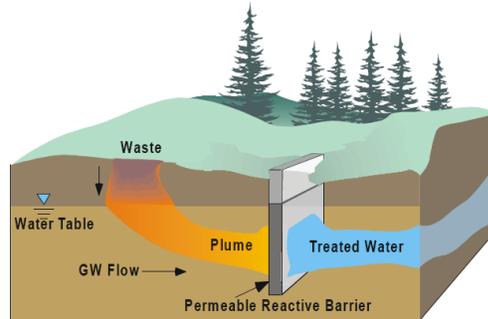


Fig. 37. Esquema de barrera permeable reactiva (PRB) (Powell et al., 1998).

Fuente: "Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorios de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa."

Un elemento muy importante que caracteriza a la mayoría de las fibras es la lignina, que es un polímero natural cuya estructura es muy compleja, tridimensional y presenta varias ramificaciones de grupos hidroxilo.

A pesar de que tiene un relativamente bajo peso molecular, la lignina no es soluble en agua, tiene una fuerte resistencia a las reacciones químicas y una gran superficie (180m² / g). Su peso molecular varía de 2000 a 15 000 g / mol. Las propiedades de este compuesto revelan que tiene un buen potencial para ser utilizado como un medio de absorción para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales (Mohanty et al., 2000).

Sin embargo, las propiedades de los filamentos y fibras pueden variar considerablemente dependiendo de la fuente, edad, técnica de separación, contenido de humedad, velocidad de ensayo, etc.

El estudio de Goo-Beom Lee (Lee et al., 2004) sobre la interacción entre los metales pesados y las fibras naturales mostró que la lignina de las fibras tiene un papel importante en el proceso de adsorción de cationes metálicos. Otros estudios científicos (Troisi et al., 2009; Fallico et al., 2010) muestran además que, si bien la lignina juega un papel fundamental papel en el proceso de adsorción de metales pesados, es importante considerar otros factores como la concentración de cationes metálicos en solución.

6.3 Objetivos

Objetivo General

- Estudiar y caracterizar la fibra cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio -remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos), por metales pesados e hidrocarburos mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorio de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa.

Objetivos Específicos

- Caracterizar la fibra cabuya tanto en términos de su composición química, como en términos de sus propiedades morfológicas y mecánicas.
- Implementar dos prototipos de Barreras Reactivas Permeables (PRB) a ser utilizado en la remediación de aguas subterráneas contaminadas por metales pesados e hidrocarburos.
- Estudiar los fenómenos característicos del flujo y transporte de contaminantes en el medio poroso mediante modelos didácticos a través de experiencia de laboratorio.

6.4 Fundamentación Científico –Técnica.

Cinética de la degradación.

Una cuantificación preliminar de la capacidad de remoción, y por lo tanto la eficacia de la fibra cabuya en el tratamiento de metales pesados, puede ser determinada por la constante de degradación λ ; este parámetro vincula la concentración del contaminante, en este caso metales pesados e hidrocarburos, con la tasa de remoción o, dicho de otra manera, con los cambios de concentración en el tiempo. Esta variación puede ser expresada por una cinética de primer orden que es la ecuación utilizada para el dimensionamiento de la Barrera Permeable Reactiva (USEPA, 1998; Di Molfetta y Sethi, 2001; Bonomo, 2003):

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda \rho_m C$$

Donde λ es el valor del parámetro que se puede obtener mediante pruebas experimentales, basándose en los valores de los resultados de las concentraciones (C) para cada uno de los metal en cada prueba de la columna, mediante la siguiente ecuación.

$$S = \frac{V}{A} = \frac{ki}{\lambda \rho_b} \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)$$

Fijando el valor del espesor del PRB, obtenemos

$$\lambda = \frac{ki}{S \rho_b} \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)$$

Donde:

k = conductividad hidráulica (permeabilidad);

C = concentración de metales pesados;

C_0 = concentración inicial;

P = cantidad de fibra;

T = tiempo de reacción;

λ = constante de degradación

$\frac{dC}{dt}$ = tasa de remoción;

ρ_m = densidad metal;

ρ_b = densidad aparente;

S = espesor del PRB;

V = volúmen of the PRB;

A = área de la PRB;

i = gradiente hidráulico;

6.5 Descripción de la propuesta

El proyecto de investigación requiere necesariamente una fase de pruebas adecuadas de experimentación que se pretende desarrollar con dos modelos físicos a realizar.

Tales modelos experimentales son de dos tipos, y prevén consideraciones diferentes.

- barrera en canal

- barrera anular alrededor de un pozo.

En el caso de la PRB inserida transversamente en el canal se aprovecha el flujo natural, por lo cual la barrera se coloca pasivamente interceptando el agua contaminada, sin alterar la dirección.

El modelo en examen requiere la realización de una estructura especial que consiste en vigas metálicas, paredes de plexiglás, con apropiados dispositivos de control a la salida de agua y para la asignación de cargas hidráulicas al inicio y la salida del

modelo. A continuación se muestra la figura 38 que representa el esquema proyectual de la estructura del modelo en el canal en estudio.

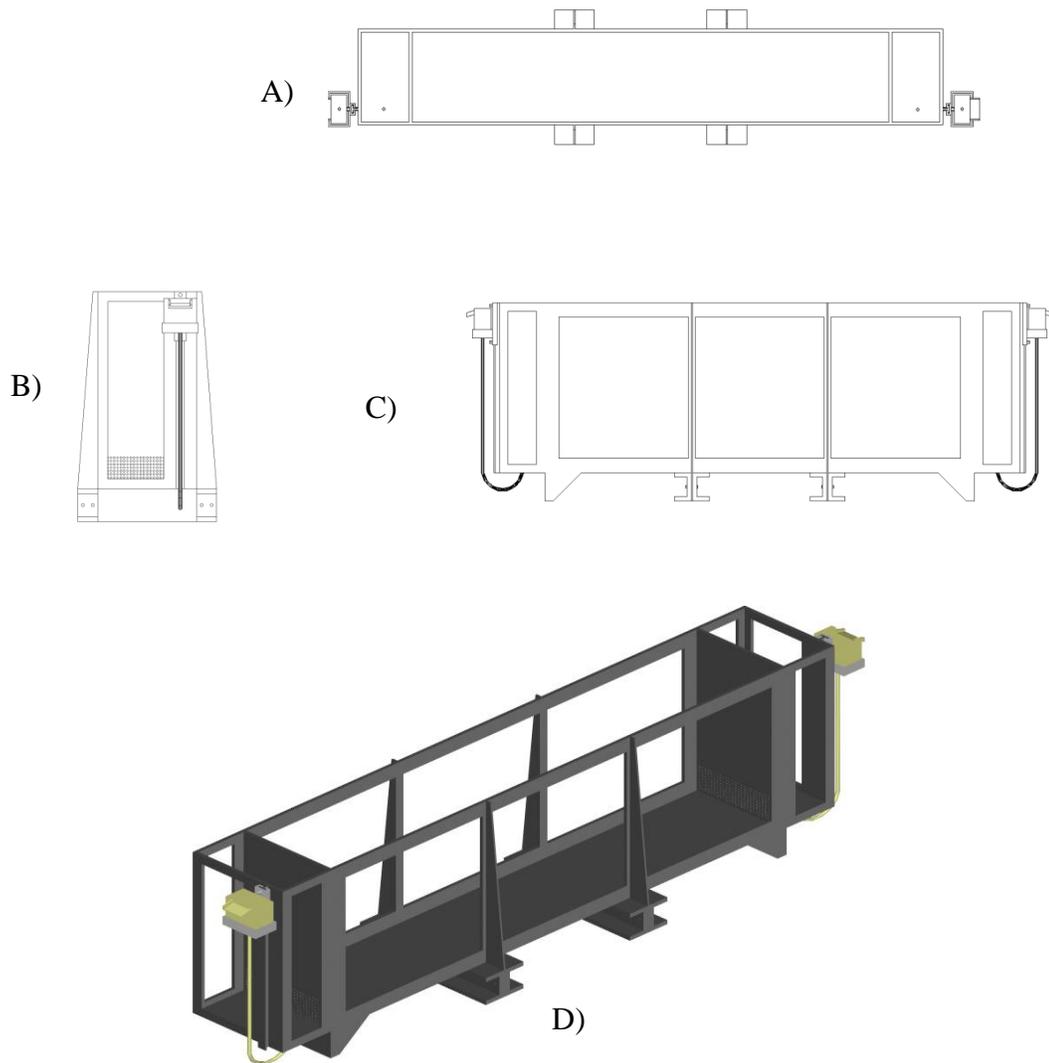


Fig. 38 Esquema de la estructura del modelo físico. a) Imagen de Planta. b) y c) Prospectivas. d) Vista isométrica.

Fuente: "Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorio de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa."

En el caso del PRB en torno a un pozo el agua viene captada a través de una bomba sumergida, inmersa en un pozo que se encuentra al centro de la configuración. El proceso de esta manera llega a ser de tipo activo en cuanto el paso a través de la barrera es impuesto por el bombeo, como viene esquematizado en la Figura 39 y Figura 40.

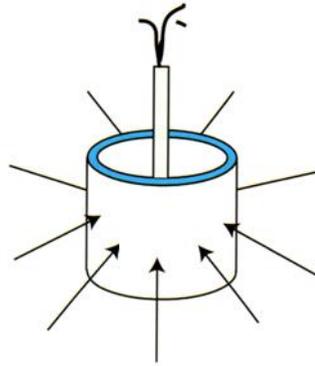


Fig. 39 Esquema de referencia - Barrera anular.

Fuente: "Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorios de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa."

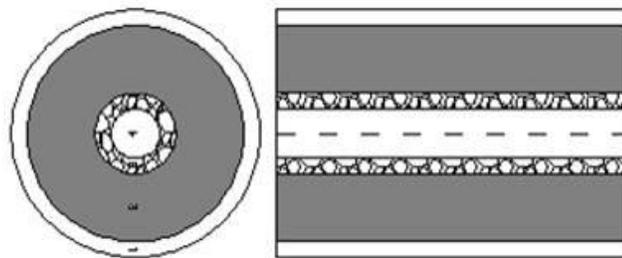


Fig. 40: Elementos que constituyen la barrera anular.

Fuente: "Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorios de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa."

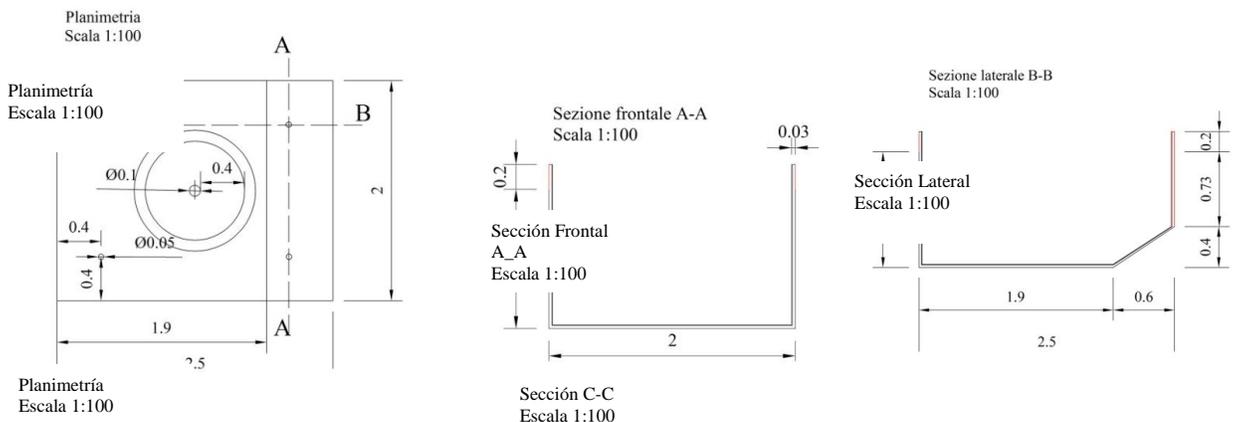
1. Estrato en el cual viene aplicado el air lift
2. Estrato donde se da el abatimiento de los metales pesados e hidrocarburos a través de la fibra de cabuya con ayuda de los microorganismos.
3. Biodren compuesto de material granular.
4. Pozo de extracción.

El esquema en análisis requiere la realización de un contenedor, también metálico, en el cual realizar la barrera y un cilindro filtrante coaxial, que funge de pozo, en el cual se inserta una bomba de pequeña dimensión para efectuar la extracción. A causa de la baja potencia requerida podría probablemente utilizarse una bomba peristáltica. Será necesario realizar un sistema adecuado de suministro y salida del agua, junto con un sistema para medir los niveles a través de piezómetros apropiados.

El conocimiento del medio y la perfecta individualización del sistema hidráulico consentirán también la utilización de apropiados modelos hidráulicos en grado de definir con exactitud el flujo hídrico de tipo radial - convergente. Además, también pueden utilizarse especiales modelos de transporte para definir las modalidades de dispersión de los contaminantes en el medio poroso que simula el acuífero y la acción de la barrera reactiva permeable.

De esta manera se obtendrá un correcto dimensionamiento de la misma al variar la concentración de contaminación inicial.

El diseño esquemático de la estructura del modelo de barrera anular mencionada se muestra en la Figura 41 y Figura 42.



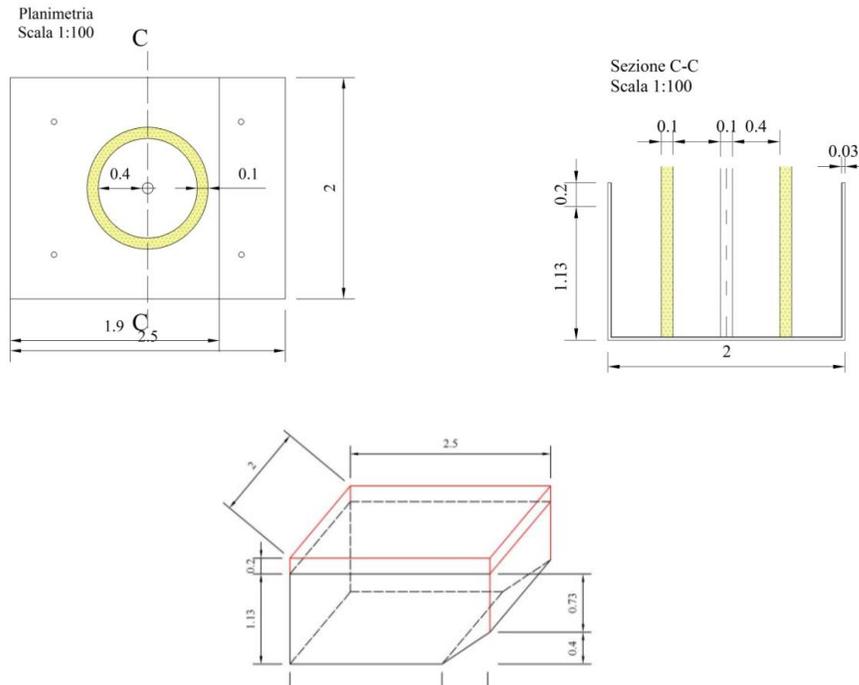


Fig. 41: Esquema proyectual del modelo físico de barrera anular.

Fuente: “Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorios de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa.”

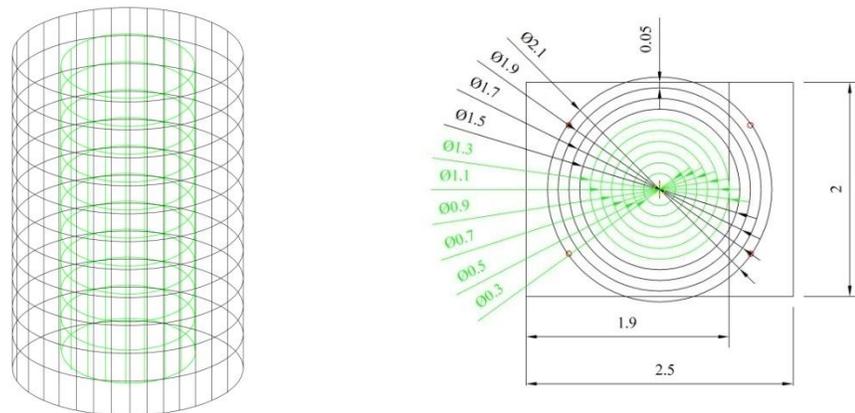


Figura 42: Esquema de barrera reactiva permeable.

Fuente: “Estudio y caracterización de la fibra de la cabuya (*Furcraea andina*) como alternativa de bio - remediación, en medios porosos contaminados (acuíferos) por metales pesados e hidrocarburos, mediante la construcción de dos diversos prototipos de laboratorios de Barreras Reactivas Permeables (PRB) una pasiva y una activa.”

Para ambos esquemas, se prevé de efectuar la caracterización hidráulica de las fibras de cabuya, realizando pruebas experimentales para la determinación de la conductividad hidráulica y porosidad. La conductividad hidráulica será determinada por las pruebas realizadas en una columna continua, utilizando las células de flujo. Para determinar la porosidad de la fibra se utilizarán los métodos de saturación.

6.6 Monitoreo y Evaluación de la propuesta

Monitoreo:

El proyecto será evaluado cada cuatrimestre ya sea a base de informes, fotografías y por el personal técnico capacitado.

Evaluación:

Con la presente investigación se espera lograr resultados de gran interés científico y técnico, por lo que se espera que la misma pueda ser divulgada, encontrando una digna destinación en revistas nacionales e internacionales, así como en conferencias nacionales e internacionales.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA.

- Angelini, L. G., Lazzeri, A., Levita, G., Fontanelli, D., and Bozzi, C.: Ramie (*Boehmeria nivea* (L.) Gaud.) and Spanish Broom (*Spartium junceum* L.) fibres for composite materials: agronomical aspects, morphology and mechanical properties, *Industrial Crops and Products*, 11, 145–161, 2000.
- Bonomo, L.: 57th Corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria – Ambientale. Siti Contaminati: Tecnologie di risanamento, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento – Sezione Ambientale – Politecnico di Milano, 2003.
- Boni M.R., S. Scaffoni. 2009. The potential of compost-based biobarriers for Cr(VI) removal from contaminated groundwater: column test. *Journal of hazardous materials* ; 166 (2-3): 1087 - 95.
- Celico, P.: *Prospezioni Idrogeologiche*, vol. 1, Liguori Ed., Napoli, 1986.
- Chidichimo, G., Gabriele, B., Salerno, G., Alampi, C., Cerchiara, T., and Vetere, M.: *Processo chimico-fisico per la produzione di fibre vegetali*, Brevetto dell'Università della Calabria (No.: CZ2006A00006), 2006.
- Di Molfetta, A. and Sethi, R.: *Metodologie di bonifica di siti contaminati*, *Siti contaminati*, 1, 16–24, 2000.

- Di Molfetta, A. and Sethi, R.: Criteri di progettazione di barriere permeabili reattive a ferro zero valente, Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino, 2001.
- Gabriele, B., Cerchiara, T., Salerno, G., Chidichimo, G., Vetere, M. V., Alampi, C., Gallucci, M. C., Conidi, C., and Cassano, A.: A new physical-chemical process for the efficient production of cellulose fibers from Spanish broom (*Spartium junceum* L.), *Bioresource Technology*, 101, 724–729, 2009.
- Gillham, R. W. and O'Hannesin, S. F.: Enhanced degradation of halogenated aliphatics by zerovalent iron, *Ground Water*, 32, 958–967, 1994.
- Hamill, L. and Bell, F. G.: Ground water resource development, Butterworth Heinemann Ltd. Oxford, 1986.
- Jun, D., Yongsheng, Z., Weihong, Z., and Mei, H.: Laboratory study on sequenced permeable reactive barrier remediation for landfill leachate-contaminated groundwater, *J. Hazardous Materials*, 161, 224–230, 2009.
- Lee, B. G. and Rowell, R. M.: Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using lignocellulosic fibers, *J. Natural Fibers*, 1, 97–108, 2004.
- Ministero dell'Ambiente: Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152: Norme in materia ambiente. SO alla GU della Repubblica Italiana n. 88 del 14 Aprile 2006 – Suppl. Ordinario n. 9, 2006.
- Mohanty, A. K., Misra, M., and Hinrichsen, G.: Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites, *Macromol. Mater.s.l.: Wiley-VCH*, 276/277, 1–24, 2000.

- Orth, S. and Gillham, R.: Dechlorination of Trichloroethene in Aqueous Solution Using Fe⁰, *Environ. Sci. Technol.*, 30, 66–77, 1996.
- Orth, F., Dauda, T., and McKenzie, D. E.: Reductive Dechlorination of DNAPL Trichloroethylene by Zero-Valent Iron. *Pract. Periodical of Haz., Toxic, and Radioactive Waste Mgmt.*, 2, 123–128, 1998.
- Parbs, A. and Birke, V.: State-of-the-art report and inventory on already demonstrated innovative remediation technologies, EURODEMO (European Co-ordination Action for Demonstration of Efficient Soil and Groundwater Remediation), University of Lneburg (ULB, formerly University of Applied Sciences NE Lower Saxony, FHNON), 2005
- Powell, R. M., Puls, R. W., Blowes, D. W., and Vogan, J. L.: *Permeable Reactive Barrier Technologies for Contaminant Remediation*, U.S. Environmental Protection Agency, US Office of Research and Development, US Office of Solid Waste and Emergency Response, EPA/600/R-98/125, 1998.
- Troisi, S., Fallico, C., Straface, S., and Mazzuca, L.: Biodreni per la bonifica di siti contaminati realizzati con fibre naturali liberiane ad elevato sviluppo superficiale. Brevetto dell'Universit`a della Calabria (n.: CS2008A00018), 2008.
- S. Troisi, E. Migliari, C. Fallico, S. Straface. 2002. Soil and groundwater contamination by heavy metals in the industrial area of Crotona. In *Proceedings of Third International Conference RISK ANALYSIS III*. Ed. by C.A. Brebbia. WIT Press, Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA - UK.

- S. Troisi, S. Straface, C. Fallico, F. Chidichimo, A. Molinari. 2009. Rimozione di metalli pesanti in falda mediante barriere permeabili reattive in fibre di ginestra. In Atti del XXX Corso di Aggiornamento in Tecniche per la Difesa dall'Inquinamento. Guardia Piemontese Terme (Cosenza). 20 Giugno.
- U.S.EPA: Permeable reactive barrier. Technologies for contaminant remediation, edited by: Powell, R. M. and Puls, R. W., Subsurface Protection and Remediation Division National Risk Management Research Laboratory Ada, Oklahoma 74820, September, 1998.
- M. Valko, H. Morris, M.T. Cronin 2005. Metals, toxicity and oxidative stress. *Curr Med Chem.* 1161-208.
- Zolla, V., Sethi, R., and Di Molfetta, A.: Performance assessment and monitoring of a permeable reactive barrier for the remediation of a contaminated site, *Am. J. Environ. Sci.*, 3, 158–165, 2007.

INTERNET:

www.technologyreview.es/tr35mexico/profile.aspx?trid=1270

es.wikipedia.org/wiki/Fibra_natural

www.naturalfibres2009.org/es/fibras/index.html

www.fibrasnaturales.com.

[www,finagro.com](http://www.finagro.com)

CAPITULO VIII

ANEXOS

ANEXO 1

TULAS.

TABLA 12. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		¹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda	D.Q.O.	mg/l	250

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Química de Oxígeno			
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

TABLA 12. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

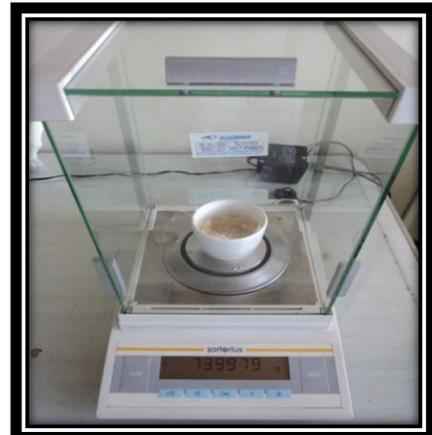
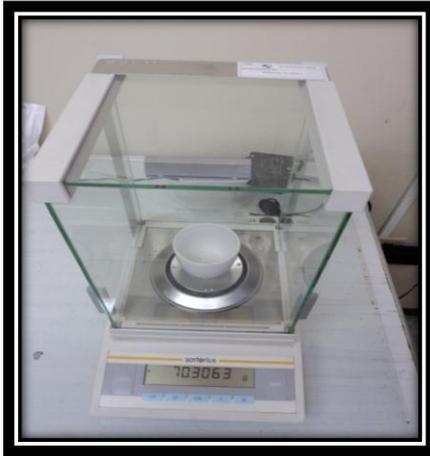
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	Ph		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos		mg/l	100

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Suspendidos Totales			
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

ANEXO 2

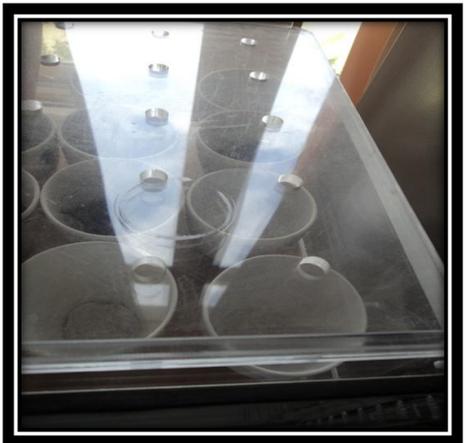
FOTOS DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE LA FIBRA.

Determinación de humedad de la fibra:



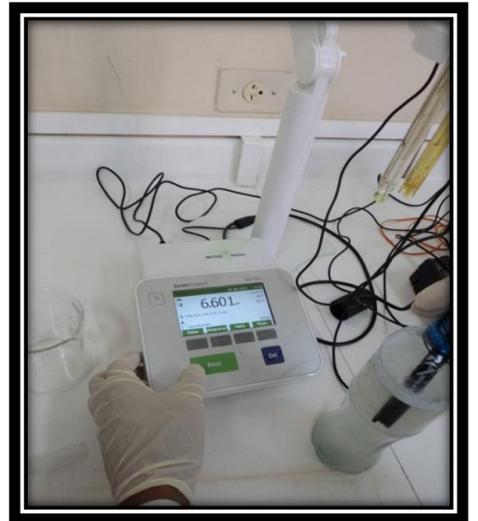
ANEXO 3

Determinación de Cenizas de la fibra.



ANEXO 4

Determinación de pH de la fibra:



ANEXO 5:
PREPARACION DE SOLUCIONES.



Soluciones de concentracion con metales pesados.



ANEXO 6:
EQUIPO EXPERIMENTAL DE LABORATORIO FILTRO BIOLÓGICO DE FIBRA CAYA.



Filtro de Fibra de Cabuya

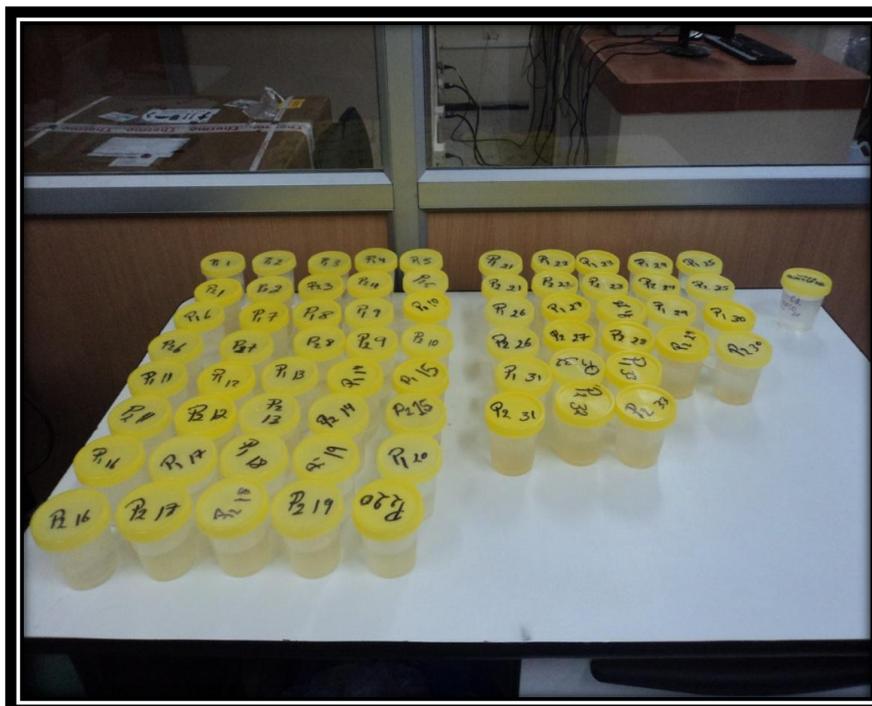


Equipo de laboratorio.

ANEXO 7:
MUESTRAS PARA ANALISIS EN RECIPIENTES ESTERILES.



Toma de muestras con el equipo de laboratorio para análisis.



**ANEXO 8:
ANALISIS DE LABORATORIO**



Manipulación de reactivos para análisis de laboratorio.





Preparación de muestras para análisis en el equipo HACH



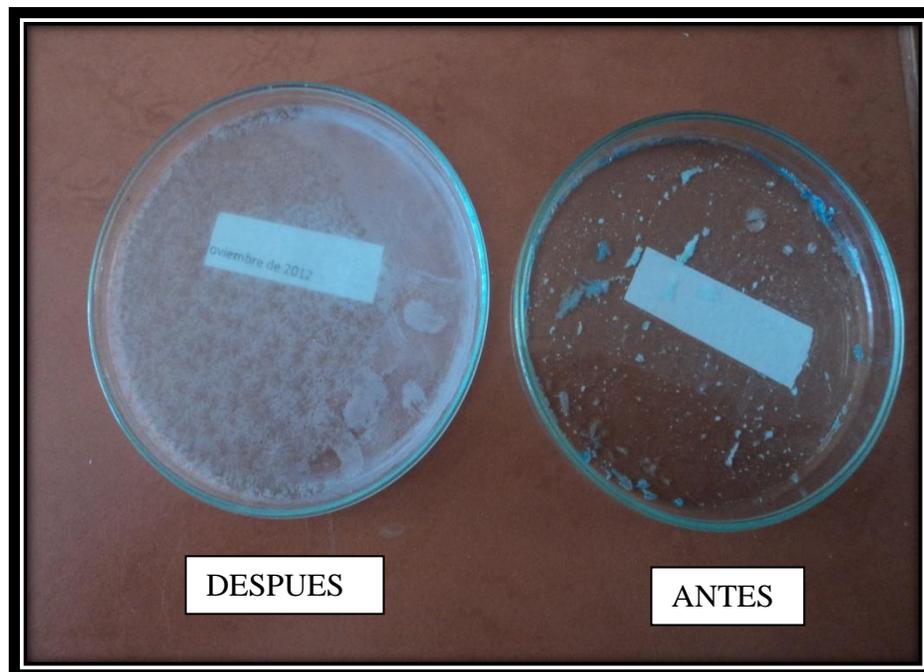
Muestras de cromo con reactivo para análisis de Cromo.

ANEXO 9:

PRESENCIA DE METALES POR RECRISTALIZACION.

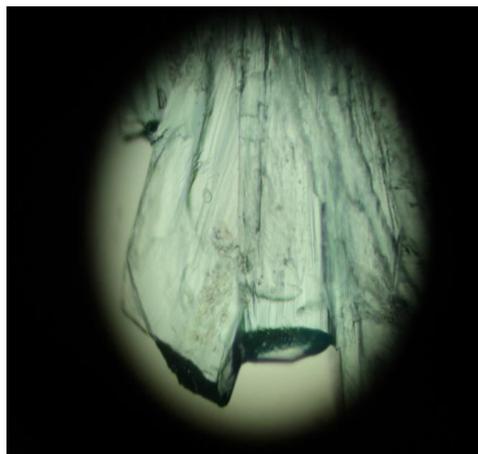
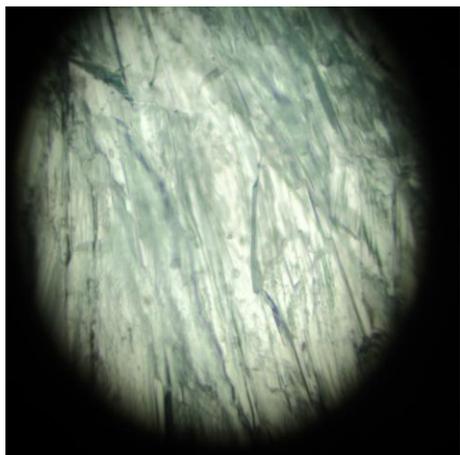


Muestras en cajas petri antes y después del tratamiento.

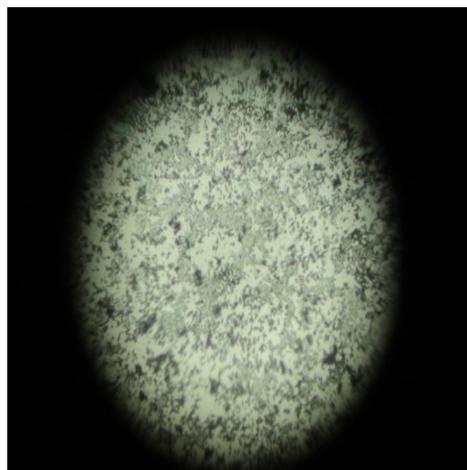
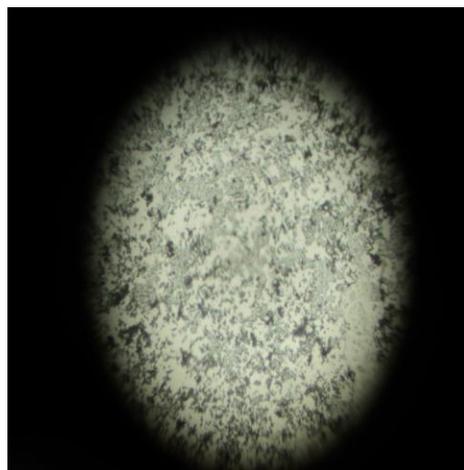


ANEXO 10.

VISTA EN EL MICROSCOPIO DE PRESENCIA DE METALES EN FORMA DE CRISTALES.



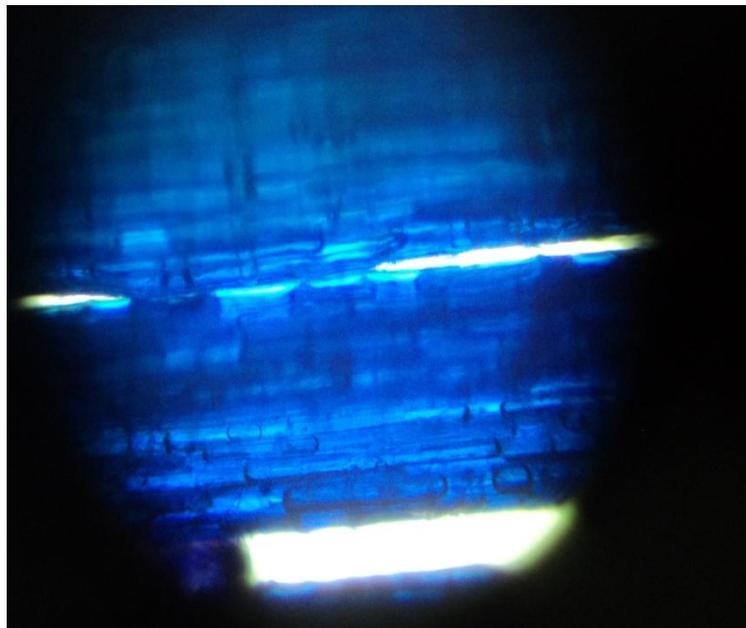
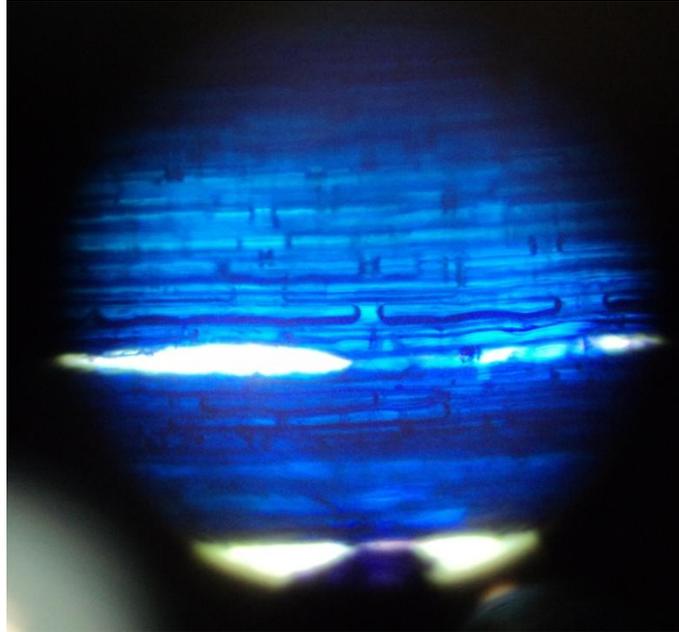
Presencia de metales en el agua antes del tratamiento en forma de cristales.



Muestras vistas en el microscopio luego del tratamiento biológico.

ANEXO 11:

Vista en el microscopio de la fibra con la presencia de metales.



ANEXO 12:
ESPECTROS DE LA FIBRA DE CABUYA.

Las graficas representan los compuestos de lignina y celulosa presente en la fibra de cabuya, con un grupo OH y un grupo ETER.

