



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE Cr⁺⁶
EN AGUA PROVENIENTES DE INDUSTRIA MINERA
UTILIZANDO BAMBÚ Y YUCA COMO BIOFILTRO

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

ZORAYDA SOLEDAD PAVÓN JARAMILLO

Macas – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE Cr⁺⁶
EN AGUA PROVENIENTES DE INDUSTRIA MINERA
UTILIZANDO BAMBÚ Y YUCA COMO BIOFILTRO

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: ZORAYDA SOLEDAD PAVÓN JARAMILLO

DIRECTOR: Ing. WILLIAM ESTUARDO CARRILLO BARAHONA MSc.

Macas – Ecuador

2021

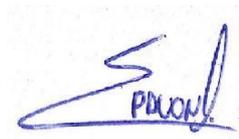
©2021, Zorayda Soledad Pavón Jaramillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Zorayda Soledad Pavón Jaramillo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 14 de septiembre del 2021



Zorayda Soledad Pavón Jaramillo

140054325-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE Cr⁺⁶ EN AGUA PROVENIENTES DE INDUSTRIA MINERA UTILIZANDO BAMBÚ Y YUCA COMO BIOFILTRO**, realizado por la señora: **ZORAYDA SOLEDAD PAVÓN JARAMILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. William Xavier Ibáñez Moreno MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> WILLIAM XAVIER IBANEZ MORENO	2021-09-14
Ing. William Estuardo Carrillo Barahona MSc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> WILLIAM ESTUARDO CARRILLO BARAHONA	2021-09-14
Ing. Christian Orlando Camacho López MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> CHRISTIAN ORLANDO CAMACHO LOPEZ	2021-09-14

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación, a todas las personas quienes me han brindado su apoyo incondicional y colaboración desinteresada, para culminar mis estudios profesionales.

En especial a mi familia, a mis padres, a mis hermanos, a mi esposo y a mis dos hijos Marco y Leonela, quienes han sido partícipes de esta travesía, que ha sido difícil pero no imposible, permitiéndome cumplir con mi superación personal y profesional.

Zorayda

AGRADECIMIENTOS

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo sede Morona Santiago, en especial a sus autoridades y docentes por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y aportar con la sociedad.

Finalmente agradezco de forma especial al Ing. William Carrillo y al Ing. Christian Camacho por brindarme su apoyo, paciencia y sus conocimientos para que finalice exitosamente este trabajo de titulación.

Zorayda

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ixiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Bases teóricas generales	4
1.1.1. Agua Residual.....	4
1.1.2. Características del Agua Residual.....	4
1.1.2.1. Remoción de Metales Pesados	4
1.1.3. Metales pesados	5
1.1.3.1. Problemas socio-ambientales de los metales pesados	5
1.1.3.2. Técnicas convencionales para la remoción de metales en aguas residuales.....	5
1.1.4. Cromo.....	6
1.1.4.1. Cromo hexavalente Cr⁺⁶.....	7
1.1.4.2. Remoción del Cr⁺⁶ en agua residual	7
1.1.4.3. Mecanismos de remoción de Cr⁺⁶.....	8
1.1.5. Biofiltro	8
1.1.5.1. Proceso de biofiltración	8
1.1.5.2. Variables de operación dentro de un biofiltro estándar.....	9
1.1.5.3. Composición estructural de un biofiltro.....	11
1.1.5.4. Tipos de biofiltros según su medio filtrante	12
1.1.5.5. Tipos de biofiltros según su fase líquida	13
1.1.5.6. Tipos de biofiltro según su fase biológica	13
1.1.5.7. Tipos de biofiltros según su equipo de purificación.....	14
1.1.6. Tipos de biofiltros de lechos filtrantes.....	14
1.1.6.1. Según la fuerza impulsora para hacer pasar el agua por el filtro	14
1.1.6.2. Según la estructura.....	14
1.1.6.3. Según el lecho.....	14

1.1.6.4.	<i>Según el flujo</i>	15
1.1.6.5.	<i>Según el tipo de pretratamiento</i>	15
1.1.7.	Lechos filtrantes	15
1.1.7.1.	<i>Características del medio filtrante</i>	15
1.1.7.2.	<i>Criterios de lecho filtrante</i>	16
1.1.7.3.	<i>Componentes del medio filtrante</i>	16
1.1.7.4.	<i>Factores que deben cumplir los componentes filtrantes</i>	16
1.1.7.5.	<i>El peso específico del material filtrante</i>	16
1.1.7.6.	<i>Espesor de las capas filtrantes</i>	17
1.1.8.	Bambú y yuca como lechos filtrantes	17
1.1.8.1.	<i>Taxonomía del bambú y yuca</i>	18
1.1.8.2.	<i>Características químicas del bambú y la yuca</i>	18
1.2.	Bases conceptuales	19
1.2.1.	<i>Bioadsorción</i>	19
1.2.2.	<i>Bioacumulación</i>	19
1.3.	Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013 (muestras de aguas residuales)	20
1.4.	Marco legal	21
1.4.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	21
1.4.2.	<i>Norma calidad ambiental y descarga efluentes:Recurso agua:Libro VI, Anexo 1.</i>	21

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	24
2.1.	Localización del estudio	24
2.2.	Tipo de investigación	25
2.3.	Diseño de la investigación	25
2.3.1.	<i>Diseño experimental</i>	25
2.4.	Toma de muestras del agua residual	26
2.5.	Determinación del Cr⁺⁶	26
2.6.	Selección y obtención de la fibra del bambú y la yuca	27
2.6.1.	<i>Proceso de obtención de la fibra del bambú</i>	27
2.6.2.	<i>Proceso de obtención de la fibra de la yuca</i>	27
2.7.	Construcción del Biofiltro	27
2.8.	Prueba del biofiltro en el agua residual	29

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	30
3.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	30
3.2. Diseño experimental	36
3.2.1. Análisis estadístico de la Turbidez	36
3.2.2. Análisis estadístico de los Sólidos suspendidos	39
3.2.2. Análisis estadístico del pH.....	42
3.2.4. Análisis estadístico de la conductividad eléctrica.....	45
3.2.5. Análisis estadístico del Cr⁺⁶	48
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES.....	52
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Materiales para biofiltros	12
Tabla 2-1:	Clasificación de los biofiltros en función de la fase líquida y biológica	13
Tabla 3-1:	Valores coeficiente de esfericidad y peso específico de materiales filtrantes	17
Tabla 4-1:	Espesor de las capas del medio filtrante	17
Tabla 5-1:	Taxonomía de <i>Guadúa Angustifolia Kunth</i> – bambú... ..	18
Tabla 6-1:	Taxonomía de <i>Manihot Esculenta Crantz</i> – yuca	18
Tabla 7-1:	Porcentajes de los componentes químicos de bambú... ..	19
Tabla 8-1:	Porcentajes de los componentes químicos de yuca	19
Tabla 9-1:	Ventajas y desventajas de los mecanismos de captación de iones metálicos	20
Tabla 10-1:	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	22
Tabla 11-1:	Límites de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público.....	23
Tabla 1-2:	Coordenadas de la minera Panantza-San Carlos	25
Tabla 2-2:	Toma de muestras antes de aplicar los biofiltros	26
Tabla 1-3:	Prueba de normalidad de la turbidez	37
Tabla 2-3:	Prueba de homogeneidad de varianzas de la turbidez	37
Tabla 3-3:	ANOVA de un factor de la turbidez	37
Tabla 4-3:	Prueba post hoc de la turbidez	38
Tabla 5-3:	Subconjuntos homogéneos de la turbidez	38
Tabla 6-3:	Prueba de normalidad de sólidos suspendidos	40
Tabla 7-3:	Prueba de homogeneidad de varianzas de los sólidos suspendidos	40
Tabla 8-3:	ANOVA de un factor de varianzas de los sólidos suspendidos	40
Tabla 9-3:	Prueba post hoc de los sólidos suspendidos	41
Tabla 10-3:	Subconjunto homogéneos de los sólidos suspendidos	41
Tabla 11-3:	Prueba de normalidad del pH.....	43
Tabla 12-3:	Prueba de homogeneidad de varianzas del pH	43
Tabla 13-3:	ANOVA de un factor del pH.....	43
Tabla 14-3:	Prueba post hoc del pH.....	44
Tabla 15-3:	Subconjuntos homogéneos del pH.....	44
Tabla 16-3:	Prueba de normalidad de la conductividad eléctrica	46
Tabla 17-3:	Prueba de homogeneidad de varianzas de la conductividad eléctrica	46
Tabla 18-3:	ANOVA de un factor de la conductividad eléctrica	46
Tabla 19-3:	Prueba post hoc de la conductividad eléctrica	47
Tabla 20-3:	Subconjuntos homogéneos de la conductividad eléctrica	47
Tabla 21-3:	Prueba de normalidad del Cr^{+6}	49

Tabla 22-3:	Prueba de homogeneidad de varianzas del Cr^{+6}	49
Tabla 23-3:	ANOVA de un factor del Cr^{+6}	49
Tabla 24-3:	Prueba post hoc del Cr^{+6}	50
Tabla 25-3:	Subconjuntos homogéneos del Cr^{+6}	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Principio de funcionamiento de un biofiltro	9
Figura 1-2:	Localización de la Minería	24
Figura 2-2:	Localización de la Minería	24
Figura 3-2:	Biofiltro.....	28
Figura 1-3:	Muestras y parámetros	30

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Turbidez	31
Gráfico 2-3:	Sólidos suspendidos	32
Gráfico 3-3:	Cambio del pH en muestras de agua	33
Gráfico 4-3:	Conductividad eléctrica.....	34
Gráfico 5-3:	Variabilidad del Cr^{+6}	35
Gráfico 6-3:	Porcentaje de remoción de la turbidez.....	36
Gráfico 7-3:	Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos	39
Gráfico 8-3:	Porcentaje de remoción del pH	42
Gráfico 9-3:	Porcentaje de remoción de la conductividad eléctrica.....	45
Gráfico 10-3:	Porcentaje de remoción del Cr^{+6}	48

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** VISITA A LA INDUSTRIA MINERA PANANTZA-SAN CARLOS
- ANEXO B:** TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL
- ANEXO C:** SELECCIÓN Y OBTENCIÓN DE LA FIBRA DEL BAMBÚ Y LA YUCA
- ANEXO D:** RESULTADOS DE LABORATORIO PARA Cr⁺⁶
- ANEXO E:** CONSTRUCCIÓN DEL BIOFILTRO
- ANEXO F:** PREPARACIÓN DEL MEDIO FILTRANTE
- ANEXO G:** PRUEBA DEL BIOFILTRO EN EL AGUA RESIDUAL
- ANEXO H:** ANÁLISIS DE LABORATORIO

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el porcentaje de reducción de Cr^{+6} en muestras de agua provenientes de la industria minera, utilizando bambú y yuca como biofiltro. Se diseñaron dos biofiltros, utilizando como medio filtrante carbón activado, arena, piedra, bambú y yuca, mediante muestras aleatorias. Para determinar las concentraciones y el porcentaje de remoción en ambos tratamientos, se realizó la identificación del agua inicial y final, bajo los parámetros de Cr^{+6} , turbidez, sólidos suspendidos, pH y conductividad eléctrica. Cada biofiltro estaba diseñado por un tanque de almacenamiento conectado a una tubería con una llave de paso, que permitió la circulación del agua residual al biofiltro y posteriormente al tanque de recolección del agua tratada. Se desarrolló la técnica de revisión documental para la elaboración del marco teórico. Además, para el análisis estadístico se utilizó el modelo de diseño experimental ANOVA de un Factor que permitió establecer las diferencias significativas entre los tratamientos usados. Como resultado se identificó una diferencia significativa entre los tratamientos con bambú y yuca, de manera que, hubo una reducción del 38% y 31.2% para el Cr^{+6} , del 19.2% y 13% para la turbidez, del 3.6% y 2.5% para los sólidos suspendidos, del 5.9% y 1.2% en el pH y del 9.2% y 3.4% para la conductividad eléctrica, del bambú y yuca respectivamente. Se concluye que es más eficiente el tratamiento con bambú. Se recomienda realizar pruebas con un tratamiento mixto entre el bambú y la yuca, para verificar su eficiencia e identificar posibles métodos de reutilización del bambú y la yuca, posterior al tratamiento del Cr^{+6} .

Palabras clave: <BIOTECNOLOGÍA>, <BIORREMEDIACIÓN>, <AGUA RESIDUAL>, < BIOFILTRO>, < CHROME (Cr^{+6}) >, < TURBIDEZ >.

INES
ZAPAT
A
ZUMAR
RAGA

Firmado digitalmente
por INES ZAPATA
ZUMARRAGA
DN: cn=INES ZAPATA
ZUMARRAGA
gn=INES c=EC
l=RIOBAMBA
ou=Certificado de
Clase 2 de Persona
Física EC
e=ineszapata@hotmail.com
Motivo: Apruebo este
documento
Ubicación:
Fecha: 2021-05-08
12:25:05:00



1110-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the percentage of reduction of Cr^{+6} in water samples from the mining industry using bamboo and cassava as a biofilter. Two biofilters were designed using activated carbon, sand, stone, bamboo and cassava as filter resources by means of random samples. To determine the concentrations and the percentage of removal in both treatments, the identification of the initial and final water was carried out under the parameters of Cr^{+6} , turbidity, suspended solids, pH and electrical conductivity. Each biofilter was designed by a storage tank connected to a pipe with a stopcock, which allowed the circulation of wastewater to the biofilter and later to the collection tank for treated water. The document review technique was developed for the elaboration of the theoretical framework. In addition, for the statistical analysis, the one-factor ANOVA experimental design model was used, which made it possible to establish the significant differences between the treatments used. As a result, a significant difference was identified between the treatments with bamboo and cassava, so that there was a reduction of 38 % and 31.2 % to Cr^{+6} , 19.2 % and 13 % to the turbidity, from 3.6 % and 2.5 % to the suspended solids, 5.9 % and 1.2 % in pH and 9.2 % and 3.4 % to the electrical conductivity of bamboo and cassava respectively. It is concluded that the treatment with bamboo is more efficient. It is recommended to carry out tests with a mixed treatment between bamboo and cassava to verify its efficiency and identify possible methods of reuse of bamboo and cassava after the Cr^{+6} treatment.

Keywords: < BIOTECHNOLOGY >, < BIOREMEDIATION >, < WASTE WATER >, < BIOFILTER >, < CHROME (Cr^{+6}) >, < TURBIDITY >.



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ARMANDO
QUISHPE HIPO**

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen varios problemas de contaminación de recursos hídricos a nivel mundial, que son motivo de preocupación y requieren métodos eficientes de remediación que minimicen el impacto ambiental generado de efluentes industriales con metales pesados como cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio (Cartaya, 2008, y Akar et al., 2006; citados en Soto, et al., 2017, pp. 6-10).

El incremento de estas sustancias tóxicas vertidas en suelos y aguas, tienden a bioacumularse indefinidamente (Tejada, 2014, p. 4), comprometiendo el bienestar y equilibrio de la fauna, flora y la salud de las personas que habitan en comunidades cercanas (Reyes, et al., 2016, pp. 66-77).

En el Ecuador existe una gama de utilidades derivadas del cromo, principalmente en productos de las aleaciones del acero, galvanoplastia, tinción de textiles, minería y curtiembres; que son aplicados de la sobreexplotación de los recursos naturales y la incorrecta disposición de los residuos generados en un proceso productivo (Ahemad, 2014 y Delgado et al., 2020, p. 8).

Existen diferentes proyectos mineros en el Ecuador en los cuales las descargas de efluentes pueden tener contaminantes como el cromo, que se encuentra en dos estados de oxidación, según lo clasifica Delgado (2020, et al., p. 24) de forma trivalente (Cr^{+3}) bajo la forma de óxido de cromo y sulfato de cromo, y en forma hexavalente (Cr^{+6}) bajo la forma de trióxido de cromo, ácido crómico y dicromato. Cuando el Cr^{+6} está presente con la materia orgánica en aguas de acequias y suelos es reducido a Cr^{+3} ; pero cabe mencionar que en concentraciones más altas del ion hexavalente puede sobrepasar la capacidad de reducción generando un impacto ambiental (García, et al., 2014, pp. 24-27).

Dada la problemática que presenta el Cr^{+6} , se han desarrollado investigaciones para la reducción de este metal con diversos materiales orgánicos e inorgánicos; como por ejemplo la bioadsorción con cáscaras de coco, de naranja, de limón, de yuca, de manzana, entre otras, con el fin de evaluar su potencial de adsorción de Cr^{+6} en efluentes industriales, en las biomasas microbianas y por último en residuos agroindustriales (Tejada et al., 2014, p. 116).

La provincia de Morona Santiago capital Macas, se caracteriza por tener una superficie de 24.062 km², una población de 137.254 habitantes, conformada por once cantones, de los cuales, Santiago de Méndez, Limón Indanza, San Juan Bosco y Gualaquiza, tienen la mayor demanda de concesiones mineras. Uno de los proyectos de interés ambiental es la operación de la Empresa China Explorcobres S.A. ubicado en Panantza-San Carlos perteneciente al cantón San Juan Bosco, con una extensión de 3.200 hectáreas donde minan el cobre, oro y molibdeno (CEDHU; FIDH, 2010, pp. 26-27). En esta región existen zonas acuíferas, que en investigaciones realizadas detallan que la calidad del agua en los ríos es afectada por efluentes de la minería con descarga significativa de metales pesados (Gobierno Municipal del Cantón Morona, 2012, pp. 33-60).

Se plantea determinar la posibilidad de reducir el porcentaje de Cr^{+6} en muestras de agua provenientes de la industria minera utilizando bambú y yuca como lechos filtrantes de biofiltros, para evaluar cuál de los dos tratamientos tiene mayor porcentaje de reducción.

Existen distintas investigaciones con otros biofiltros empleando distintos materiales. Sobre la base de este prototipo de ensayos de biofiltros como es el estudio investigativo desarrollado por Acosta, la adsorción de Cr^{+6} utilizando la cáscara de yuca como bioadsorbente (Acosta et al., 2017, pp. 11-15). Así también se han utilizado en la remoción de Cr^{+6} partículas a base de hojas de bambú (Martínez et al., 2018, pp. 595-607). En muestras de agua de las curtiembres de Nuevo Mundo en la ciudad de Ambato se utilizó la cabuya como biofiltro a diferentes longitudes (Santillán et al, 2019, p.1). La importancia de este proyecto radica en utilizar el bambú y la yuca, que han demostrado cierta efectividad en otros biofiltros, pero no en esta composición, pudiendo así resolver el impacto ambiental, puesto que el cromo reducido en forma trivalente (Cr^{+3}) es un aporte de nutrientes esenciales para la supervivencia de las células, en el metabolismo de carbohidratos y lípidos, estabilización de proteínas y ácidos nucleicos (Beltrán, et al., 2016, pp. 23-28).

El alcance del proyecto investigativo de base experimental tiene como alternativa mediante la creación de biofiltros, colaborar con la investigación científica de la reducción del Cr^{+6} en las aguas de minería, así como en otro tipo de industrias. Además, aportar metodologías descriptiva y explicativa, para la comparación de los resultados de la concentración de Cr^{+6} antes y después de la aplicación del afluente en los biofiltros de carácter experimental.

Siendo una investigación estructurada que describe en el capítulo I el marco teórico referencial, en el capítulo II el marco metodológico, en el capítulo III el marco de resultados y discusión de los resultados y por último en el capítulo IV las conclusiones y recomendaciones que se establecieron durante la investigación.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Determinar el porcentaje de reducción de Cr^{+6} en agua provenientes de industria minera, utilizando bambú y yuca como biofiltro.

Objetivos Específicos

- Elaborar dos biofiltros de bambú y yuca para la reducción del contaminante de Cr^{+6} .
- Determinar el porcentaje de reducción de Cr^{+6} , turbidez, sólidos suspendidos, pH y conductividad eléctrica, en agua provenientes de la industria minera mediante recolección y análisis de muestras.
- Evaluar qué tratamiento tiene mayor porcentaje de reducción del Cr^{+6} , turbidez, sólidos suspendidos, pH y conductividad eléctrica.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Bases teóricas generales

1.1.1. *Agua Residual*

Se entiende por aguas residuales a los efectos que tienen los contaminantes en los cauces hídricos naturales; residuos generados por la actividad antropogénica (doméstica, industrial y comunitaria) de forma directa o indirecta, provocando alteraciones nocivas en el agua. Es una mezcla de materia orgánica e inorgánica que pueden presentarse disueltos o su vez suspendidos (Díaz, et al., 2012, pp. 45-46).

1.1.2. *Características del Agua Residual*

1.1.2.1. *Remoción de Metales Pesados*

La remoción de metales pesados en las aguas residuales comprende varios factores (Caviedes et al. 2015, pp. 73-90).

Turbidez

La turbidez mide la cantidad de partículas en suspensión en el agua, aplicada como criterio de calidad de agua, tanto en procesos de potabilización y sistemas de distribución, por permitir la medición rápida, económica y de fácil interpretación (Montoya et al. 2011, pp. 1-13).

Sólidos disueltos

Se establecen como límites la fijación de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se determina la cantidad de material retenido después de filtrar un determinado volumen de muestra, a través de crisoles "GOOCH" o filtros de fibra de vidrio que utilizan como medio filtrante, son especialmente de naturaleza orgánica, siendo la mayoría producto de los desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas, formando una masa sólida suspendida en el agua (Argandoña, et al., 2013, pp. 5-9).

pH

El pH es un parámetro que permite controlar los procesos de adsorción de metales en diferentes adsorbentes, puesto que los iones de hidrógeno son fuertemente competitivos (Tejada, et al., 2015, p. 109).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) de una disolución se define como la medida para transmitir la corriente eléctrica y necesita del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes, y de la viscosidad del medio en el que se desenvuelve. La conductividad aumenta a medida que se eleva la temperatura (Castro, Zúñiga, et al., 2018, p. 16).

1.1.3. Metales pesados

Son elementos químicos de origen natural con características físicas, químicas y toxicológicas, con densidad igual o superior a 5 g/cm³ en su forma elemental, peso atómico, número atómico y toxicidad. Se definen también como grupo de metales o metaloides relacionados con la contaminación y toxicidad potencial, cuando este elemento es acumulado o se encuentra presente en grandes cantidades (Navarro et al., 2007; citado en Cabrera 2017, p. 24).

Se establece que además de ser altamente tóxicos y persistentes en el ecosistema también se caracterizan por su ubicuidad por encontrarse presentes en el aire, suelo y agua, siendo altamente solubles e incorporándose fácilmente a la cadena trófica (Franco Cabrera y Scaldaferro Ruiz 2017, p. 26).

1.1.3.1. Problemas socio-ambientales de los metales pesados

El problema ambiental se crea a partir de la utilización de estos metales en diferentes procesos industriales; por ejemplo, en la producción de herramientas, utensilios, entre otros. La utilización de estos materiales los convierten en peligrosos cuando se acumulan y se magnifican con el tiempo, puesto que no pueden ser degradados químicamente o biológicamente (Franco Cabrera y Scaldaferro Ruiz 2017, p. 26).

Las vías principales de exposición de metales pesados en los seres humanos son por inhalación de humo o aire contaminado, ingesta de alimentos o agua contaminada y el contacto directo con la piel. Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), los metales más tóxicos para el ser humano son el arsénico y el cadmio. Por otra parte, para la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (CIIC), los metales más cancerígenos son del grupo uno: cromo (VI) o Cr⁺⁶, arsénico, cadmio, hierro y níquel (Nordberg, 2019; Franco Cabrera y Scaldaferro Ruiz, 2017, p. 63).

1.1.3.2. Técnicas convencionales para la remoción de metales en aguas residuales

- Ósmosis

Método que utiliza la membrana semipermeable para separar del agua los sólidos, virus y bacterias disueltas. Eliminando así el 95% de sólidos disueltos totales y 99% de bacterias. No se utilizan

productos nocivos durante el proceso. La desventaja es que al tratar el agua por este sistema se tarda mucho tiempo e implica altos costos (Guasatay y Tinoco, 2020, p. 52).

- *Precipitación química*

Es una técnica convencional de inversión económica elevada, que se utiliza para el tratamiento de residuos peligrosos en grandes concentraciones y que tras su proceso existen lodos residuales (Dupuy et al., 1998; citado en Guasatay y Tinoco, 2020, p. 52).

- *Intercambio iónico*

Es una técnica de tratamiento selectivo que permite la recuperación de los metales, pero en su proceso genera contaminantes de resina, bacterias, cloro, entre otras que afecta al medio natural donde es realizado (Guasatay y Tinoco, 2020, p. 52).

- *Carbón activado*

Es un sustrato que elimina contaminantes orgánicos e inorgánicos de medios acuáticos, tiene un alto costo de inversión y la mezcla de fangos o lodos que se genera en el tratamiento no es recuperable (Julián, 2011; citado en Guasatay y Tinoco, 2020, p. 52).

- *Electrocoagulación*

Es una técnica menos costosa de operación y que no requiere de productos químicos. Este tratamiento tiene la capacidad de producir aguas potables claras y limpias, por lo cual tiene alta remoción de contaminantes que a su vez purifican el agua (Guasatay y Tinoco, 2020, p. 52).

El mantenimiento de este sistema de tratamiento es constante puesto que utiliza electrodos que deben reponerse, debido a la oxidación de los cátodos que disminuyen la eficiencia del proceso (Guasatay y Tinoco, 2020, p. 52).

1.1.4. Cromo

El químico francés, Louis Vauquelin, fue quien descubrió el cromo. Es un metal pesado y uno de los 20 elementos más abundantes dentro de la corteza terrestre. Durante su extracción se genera Cr^{+6} , siendo las principales extractivistas la industria metalúrgica con el 65%, la industria de aislantes el 18% y la industria química el 17% (Rangel y Maldonado, 2015; Citado en Guastay y Tinico, 2020, p. 47).

Las formas del cromo que se encuentra en la naturaleza son:

- Cromo (0) o metálico mayormente usado en la fabricación de acero.
- Cromo (III) o Cr^{+3} trivalente.
- El cromo hexavalente que es útil para el cromado, pigmentación, curtiembre del cuero, como preservante de madera y extracción del petróleo e inhibidores de corrosión (Rangel y Maldonado, 2015; Citado en Guastay y Tinico, 2020, p. 47).

Fuentes de cromo:

- Se encuentra en la corteza terrestre de forma dispersa como cromita, siendo el mineral más abundante para la obtención del cromo mediante la extracción de minas subterráneas o a cielo abierto (Franco Cabrera y Scaldaferrero Ruiz 2017, p. 39).
- En estado de oxidación trivalente o hexavalente, presente en las rocas, animales, plantas, suelo, polvo y gases volcánicos (Franco Cabrera y Scaldaferrero Ruiz 2017, p. 39).

1.1.4.1. Cromo hexavalente Cr⁺⁶

Tiene una fuerte propiedad oxidante, unido al oxígeno se forma cromato y dicromato. Además, el Cr⁺⁶ tiene la capacidad de atravesar la membrana biológica y reaccionar con proteínas y ácidos nucleicos. En el ser humano el 10% es absorbido en el tracto gastrointestinal, al ingresar al organismo el Cr⁺⁶ se transmite y luego es adsorbido por glóbulos rojos, reduciéndolo y uniéndolo a la hemoglobina. En cambio, en el tracto respiratorio inferior por los macrófagos alveolares pulmonares se reduce de Cr⁺⁶ a Cr⁺³ (Kirty et al., 2015; citado en Guastay y Tinico, 2020, p. 24).

Efectos sobre la salud:

- Malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético e incluso la muerte (Tejada et al., 2014, p. 115).
- Es cancerígeno, mutagénico y teratogénico, siendo 100 veces más tóxico y 1000 veces más mutagénico que la forma trivalente. Actualmente Wang menciona que es prioridad de muchos países prevenir esta disipación del contaminante luego del uso industrializado (Cortés, 2015, p. 25).
- Puede causar sangrado e irritación de la nariz (Solutions, 2015; citado en Cortés, 2015, p. 33).
- En la piel puede causar alergias como las erupciones cutáneas (Solutions, 2015; citado en Cortés, 2015, p. 33).
- Cáncer de pulmón.
- En los animales puede causar tumores, infertilidad, defectos de nacimiento, etc.

1.1.4.2. Remoción del Cr⁺⁶ en agua residual

Es el proceso de retirar iones de cromo hexavalente presentes en aguas residuales (Tejada et al., 2014, p. 115). Los efluentes de gran contaminación son las descargas sin tratar adecuadamente por parte de las industrias, como la minera que utilizan el cromo en sus actividades extractivistas. Siendo así, que las actividades y efluentes industriales son los principales contaminantes de los cursos de agua, llegando a sobrepasar los límites de concentración de cromo en condiciones naturales de 0.1 a 5 µg/L a superar los 25 µg/L (Bruhn et al., 1997; citando en Cortes, 2015, p. 32).

Algunas fuentes de contaminación son las siguientes:

- Galvanoplastia
- Pigmentaciones
- La producción de aceros y aleaciones
- Los conservantes de la madera
- Cromados
- Industrias textiles, cuero, curtido, etc.

1.1.4.3. Mecanismos de remoción de Cr⁺⁶

- El primer mecanismo consiste en la unión del cromo hexavalente con grupos funcionales cargados positivamente, los cuales se pueden encontrar en la superficie del biomaterial como los iones carbonilo, hidroxilo, amino, entre otros (Tejada et al., 2014, p. 115).
- El segundo mecanismo es la reducción del Cr⁺⁶ a Cr⁺³ por los grupos donadores de electrones adyacentes del biomaterial (Tejada et al., 2014, p. 115).
- Mientras que, en el tercer mecanismo, el Cr⁺³ es reducido y liberado a la fase acuosa debido a la repulsión electrónica entre grupos con carga positiva y el Cr⁺⁶ (Tejada et al., 2014, p. 115).

1.1.5. Biofiltro

Es un instrumento que permite la remoción de contaminantes en el agua mediante un proceso biológico, diseñado para eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales, circulando de forma horizontal o vertical (Carrillo, 2017, p.7).

Un biofiltro es un sistema de lechos filtrantes de grava en diferentes dimensiones, con una superficie que cumpla alguno de estos procesos como fitorremediación, rizofiltración, fitoestabilización, fitoestimulación, fitovolatilización y fitodegradación (Herrera y Rey, 2018, p. 38).

1.1.5.1. Proceso de biofiltración

Una vez que ingresa el agua residual a la superficie del biofiltro se percolará en el medio filtrante tratado por cuatro mecanismos naturales que actuarán de manera simultánea, estos son: (Garzón et al., 2012, p. 154):

- Filtración lenta y pasiva
- Absorción, adsorción e intercambio iónico
- Biodegradación
- Desinfección

El control de carga del efluente será aplicado según cómo permita controlar el equilibrio entre el crecimiento y decrecimiento de la biomasa, siendo esta una biodegradación pasiva de los contaminantes (Garzón et al., 2012, p. 154).

De acuerdo con el tratamiento de aguas residuales las funciones básicas de un biofiltro son (Herrera y Rey, 2018, p. 24):

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

Generalmente un biofiltro tiene un sistema modular en su tratamiento lo que permite adaptar funciones de acuerdo a la complejidad del efluente a tratar como muestra en la figura 1-1, que constituye una separación entre sólido - líquido como fosa séptica, sedimentador, flotador físico-químico; una unidad de biofiltración como biofiltros primarios y secundarios; y por último la unidad de descarga ya sea por infiltración o irrigación (Garzón et al., 2012, p. 152).

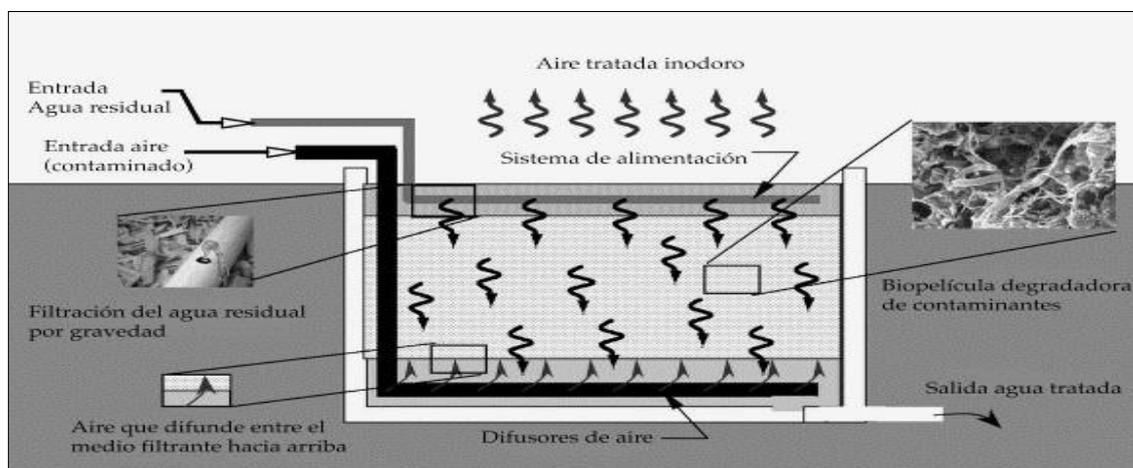


Figura 1-1: Principio de funcionamiento de un biofiltro

Realizado por: Pavón, Z.2021.

1.1.5.2. Variables de operación dentro de un biofiltro estándar

Material de relleno

El material de relleno será eficiente y vital para la operación de biofiltros convencionales y percoladores, de acuerdo a la aplicación donde se vaya a utilizar el biofiltro para efluentes contaminantes debe de cumplir algunos factores como (BION, 2015, p. 1):

- Elevada superficie de contacto
- Ligereza y durabilidad
- Elevada resistencia química y mecánica
- No debe originar elevadas caídas de presión

- Económico
- Debe permitir una buena adhesión de la biomasa
- No debe presentar efectos tóxicos sobre los microorganismos

La mayoría de las mediciones adsorbentes suelen presentar propiedades mecánicas capaces de lidiar con los ambientes más agresivos preservando su geometría inicial (BION, 2015, p. 1).

Nutrientes

Un biofiltro de eficiencia elevada y estable debe contener nutrientes de carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio, hierro y otros elementos necesarios para los microorganismos que hacen parte de esta actividad en proporciones adecuadas (BION, 2015, p. 1).

Temperatura

En el sistema de biofiltro se emplean organismos mesófilos siendo la máxima actividad metabólica entre 20 y 45°C (BION, 2015, p. 1).

Humedad

En relación a la humedad los microorganismos tienen requerimientos elevados de agua, por lo cual, la desecación del relleno produce una reducción en la actividad biológica. Un aporte de agua insuficiente, además, provoca que el lecho se reseque en la zona de entrada del aire, originando canalizaciones de la corriente que contribuyen a disminuir la eficiencia del biofiltro. En el caso de las medias adsorbentes no hay limitación por el porcentaje de humedad en el influente siempre que se evite condensación sobre el mismo (BION, 2015, p. 1).

pH

El pH es una medida de la concentración efectiva de iones H⁺ definido como el $-\log$ de la actividad de los protones (Fernández, 2021, p.1).

$$pH = -\log (H^+) \quad (\text{Ec. 1})$$

En disoluciones acuosas, el pH se encuentra controlado por las reacciones que producen o consumen H⁺, incluyendo prácticamente todas las disociaciones de ácidos, bases e hidrólisis (Fernández, 2021, p.1).

Caída de presión

El crecimiento de la biomasa en la operación interna del biofiltro causa taponamiento y canalización de la corriente gaseosa que para su mantenimiento puede elevar los costos (BION, 2015, p. 4).

Concentración de oxígeno

En los biofiltros deben utilizarse los microorganismos aerobios estrictos que requieren de 5 a 15% de oxígeno, puesto que, el aire atmosférico contiene el 20 % de oxígeno. En condiciones normales éste no suele ser limitante, dependiendo de la aplicación existen diferentes tipos de medios adsorbentes que pueden operar eficientemente con o sin oxígeno (BION, 2015, p. 5).

1.1.5.3. Composición estructural de un biofiltro

Agua

Al formar humedales con pequeñas reposiciones de agua sobre la superficie del terreno y con un subsuelo con capa relativamente impermeable que previene la filtración del agua en el subsuelo. Formando un biofiltro que probablemente se pueda construir en cualquier parte que permita la recolección de agua y sellar la superficie. Toda esta estructura conlleva a la modificación de la superficie del terreno para acondicionar y cumplir la funcionalidad de biofiltro (Herrera y Rey, 2018, p. 24).

Sustratos, sedimentos y restos de vegetación

Los sustratos, sedimentos y restos de vegetación son importantes para contener a muchos de los organismos vivientes en el biofiltro, por permeabilidad que afecta el movimiento del agua, dentro del sustrato ocurren varias transformaciones químicas y biológicas como las películas microbianas (Herrera y Rey, 2018, p. 24). Al construir un biofiltro, este está constituido por sustratos como arena, grava, roca, materiales orgánicos como el compost y suelo, se describen algunos de ellos:

- *Piedra Pómez:* es de origen volcánico, de roca ígnea con agregados ligeros que forman una red hídrica que se compone de sílice y alúmina, con alta porosidad y buen aislante térmico (Carrillo, 2017, p. 7). Son los más utilizados en la construcción porque tienen una buena resistencia mecánica y poca masa unitaria (Baquero et al., 2019, pp. 233-255).

Siendo similar a una esponja, con alta área superficial y alta porosidad, por lo cual se emplea como material de soporte de biopelícula para aguas residuales (Segovia Sampredo 2017, p. 21).

- *Arena:* es la trituración y desintegración de la roca teniendo un tamaño entre 0,063 y 2 mm, su composición dependerá del origen, así como la apariencia (Sequeira, 1976, pp. 7-8).
- *Carbón Activado:* son materiales muy porosos ricos en carbono y eficientes en los fenómenos de adsorción mediante diversas formas de activación química o física para la eliminación de una extensa variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio ambiente acuático. La obtención de carbón activado se da a partir de material lignocelulósico usado en la industria química a bajos costos (Carriazo et al. 2010, p. 8). Se evidencia que el carbón activado tiene áreas superficiales porosas que van desde 500 hasta 1.500 m²/g y un amplio espectro de superficie funcional que la hace accesible a diferentes reactivos (Caviedes et al. 2015, p. 78).
- *Materia orgánica:* da lugar al intercambio y fijación de microorganismos donde se genera una fuente de carbono y da la energía principal para las reacciones biológicas en el biofiltro (Herrera y Rey, 2018, p. 28).
- *Vegetación:* son plantas macrófitas, herbáceas que se desarrollan en el agua y suelo con diferentes grados de saturación. Frecuentemente se encuentran estas plantas en lagos,

embalses, ríos, interfase entre agua y suelo, quedando sumergidas en la superficie (Herrera y Rey, 2018, p. 28).

1.1.5.4. Tipos de biofiltros según su medio filtrante

- Filtro de arena

Es el filtro más sencillo con un tamaño de partícula de 1 a 3 mm, a mayor arena en la cama del filtro mayor capacidad de retención. La arena sílica proveniente de los mares de la región costa tiene la capacidad de eliminar la turbidez, color, sólidos suspendidos, compuestos orgánicos e inorgánicos y bacterias (Payán., n. a., p. 11).

- Filtros mixtos

Son filtros intersticios de dos niveles de arena y antracita haciendo que sean más rápidas las filtraciones en cada lavado y dando la fiabilidad de dos superficies de filtración, puesto que las partículas grandes que son filtradas en el carbón y las de menor tamaño se filtran en la arena (Payán., n. a., p. 11).

- Filtros multifunción

Consiste en la utilización de varios materiales como arena oscura, arena de cuarzo y carbón para triplicar la acción de un filtro simple, mayormente utilizado para la remoción de cromo (Payán., n. a., p. 10).

- Filtros de carbono granular activado

Son de doble funcionalidad similares a los de carbono activado, la primera para remover la materia orgánica, y la segunda para remover partículas similares a los filtros de arena. Es utilizado como un filtro dual con arena cuarzo u otros materiales que remueva las partículas (Payán., n. a., p. 11). Existen diferentes tipos de materiales que se utilizan en los filtros y pueden variar según su objetivo de aplicación (Ver Tabla 1-1).

Tabla 1-1: Materiales para biofiltros

Material	Conformación del material
Alúmina activa	Mezcla de óxido de aluminio para eliminar aniones
BIRM	Dióxido de Mn oxidante y catalítico
Carbón activo	Minas de antracita, huesos, madera y cáscara de coco para eliminar color, olor y algunos iones
Corasex óxido de Mg	Neutraliza CO ₂
Calcita de mármoles blancos machacados	Neutraliza aguas ácidas
Filter AG dióxido de silicio no acuoso	Elimina sedimentos suspendidos
Granate	Retención de partículas
Resinas de intercambio iónico	Elimina aniones y cationes

Fuente: Payán, 2011.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

1.1.5.5. Tipos de biofiltros según su fase líquida

Según la actividad de purificación puede ser en movimiento, en biolavador y en biofiltro de lecho escurrido, y de forma estacionaria son los biofiltros de lecho fijo (Instituto Nacional de Ecología, 2012; citado en Cortés, 2015, p. 50).

- *Biolavadores*

Es el compuesto a degradar, primero es absorbido en la fase líquida localizada en una torre de absorción llena de líquido (Tuset, 2014, p. 20). La operación consiste en hacer fluir el gas a contracorriente a través del líquido, donde los contaminantes y el O₂ son absorbidos (Tuset, 2014; Villen, s.f., pp. 19-20).

- *El biofiltro de lecho escurrido*

Es la alimentación del lecho, mediante una corriente gaseosa y líquida que aporta nutrientes esenciales a la biopelícula, trasladando los productos de degradación de los microorganismos (Tuset, 2014; Villen, s.f., pp. 19-20).

1.1.5.6. Tipos de biofiltro según su fase biológica.

Se clasifican en biolavador y en inmovilizada (Instituto Nacional de Ecología, 2012; citado en Cortés, 2015, p. 50).

- *Biolavador*

Degrada el contaminante mediante una película biológica la cual es alimentada por un reactor de material inerte (Tuset 2012; Villén Pérez 2010, pp. 19-20).

- *Inmovilizada*

El biofiltro de lecho escurrido (BLE) o de recirculación, consiste de una columna empacada con un soporte inerte (usualmente de material cerámico o plástico) donde se desarrolla la biopelícula (Tuset 2012; Villén Pérez 2010, pp. 19-20).

Tabla 2-1: Clasificación de los biofiltros en función de la fase líquida y biológica

		Fase Líquida	
		<i>En movimiento</i>	<i>Estacionaria</i>
Fase Biológica	<i>Dispersa</i>	Biolavador	
	<i>Inmovilizada</i>	Biofiltro de lecho escurrido	Biofiltro de lecho fijo

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 2012.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

1.1.5.7. Tipos de biofiltros según su equipo de purificación

- Biofiltro de lecho fijo (BLF)

Se conoce como material filtrante al lecho empacado que es sintético u orgánico y sirve como soporte para los microorganismos y en procesos orgánicos como fuente nutricional en el crecimiento microbiano (Cortés, 2015, p. 50).

- Biolavadores

Consta de una fase líquida localizada en una torre de absorción llena de líquido, tiene como ventaja, la recirculación del líquido que favorece a los microorganismos evitando sustancias nocivas que afecte a su metabolismo y es de fácil control (Cortés, 2015, p. 50).

1.1.6. Tipos de biofiltros de lechos filtrantes

1.1.6.1. Según la fuerza impulsora para hacer pasar el agua por el filtro

- Filtros de gravedad

Suelen ser de forma rectangular, entrando el agua por un canal lateral superior y desplazándose a través del lecho filtrante. El agua filtrada se recoge en una cámara inferior separada por un falso fondo dotado de boquillas colectoras (Pérez de la Cruz 2011, pp. 27-38).

- Filtros a presión

Cuando los caudales son reducidos, normalmente se instalan filtros verticales y a medida que el caudal es mayor el diámetro del filtro se va incrementando, siendo más recomendable una disposición horizontal (Pérez de la Cruz 2011, pp. 27-38).

1.1.6.2. Según la estructura

- Abiertos

El agua está a presión atmosférica, suelen ser de hormigón, en algunos casos pueden cubrirse.

- Cerrados

Suelen ser presurizados, se utilizan materiales metálicos o plásticos.

1.1.6.3. Según el lecho

- Lecho monocapa

Se utiliza un sólo material habitualmente arena silíceo. En el fondo del lecho, sobre el falso fondo, se suele colocar una subcapa de grava (Pérez de la Cruz 2011, pp. 27-38).

- *Filtro multicapa.*

Consiste en disponer diferentes materiales en las capas que constituyen el lecho filtrante (Pérez de la Cruz 2011, pp. 27-38).

1.1.6.4. Según el flujo

- *De flujo descendente*

Siendo ésta la tipología normal.

- *De flujo ascendente*

Esta modalidad tiene la ventaja de que se puede construir un filtro multicapa con un solo material, ya que los materiales de mayor tamaño son los que estarán en el fondo del lecho, por donde ingresa el agua (Pérez de la Cruz 2011, pp. 27-38).

1.1.6.5. Según el tipo de pretratamiento

- *Filtración directa*

Se produce cuando no se adicionan reactivos al agua a filtrar.

- *Filtración con coagulación sobre filtro*

Cuando el agua a filtrar no ha sido decantada previamente.

1.1.7. Lechos filtrantes

Es un lecho que sirve para eliminar los sólidos que contienen las aguas pretratadas y proporciona una superficie donde se pueden desarrollar microorganismos que se encargan de degradar aeróbica y anaeróbicamente la materia contaminante (Cortes Velázquez 2015, p. 47).

1.1.7.1. Características del medio filtrante

Las características del medio filtrante son factores de gran importancia que influyen en la filtración, entre los cuales se menciona los siguientes (Olivera, 2018, p. 116):

- Criterios que se considera para elección del medio filtrante.
- Componentes a considerar en la granulometría del material filtrante.
- El peso específico del material filtrante.
- Espesor del lecho filtrante.

1.1.7.2. Criterios de lecho filtrante

Para la selección de lecho filtrante se debe considerar su granulometría, la porosidad, la permeabilidad y la resistencia física contra el desgaste provocado por las aguas residuales. Cortés, establece que los materiales a utilizar frecuentemente son la grava, piedra triturada y piedra volcánica (Cortés Velázquez 2015, p. 47).

1.1.7.3. Componentes del medio filtrante

Está compuesto de materiales bastos, porosos que cumplen los límites y determinaciones de acuerdo a la objetividad de conseguir la remoción de impurezas que no fueron retenidas por el pretratamiento, adquiriendo finalmente la calidad del agua también con la remoción de microorganismos (Olivera, 2018, p. 112).

- Materia granular inerte y durable: antracita, arena, carbón activado.
- Población microbiana y dinámica: hongos, bacterias, entre otros.

1.1.7.4. Factores que deben cumplir los componentes filtrantes

- *Tamaño efectivo*: hace referencia al porcentaje del 10% del tamaño de granos, pasando por el tamiz (Olivera, 2018, p. 117).
- *Coefficiente de uniformidad*: es la relación entre el tamaño de los granos correspondiente al 60% y 10% (Olivera, 2018, p. 118).
- *Forma*: la forma de los granos habitualmente se valora en función del coeficiente de esfericidad (C_e), teniendo como relación al diámetro de una esfera, la velocidad de sedimentación y el tamaño medio de los granos (Olivera, 2018, p. 118).

1.1.7.5. El peso específico del material filtrante

El peso específico (P_e) del material es igual al peso de los granos dividido por el volumen efectivo que ocupan los granos, ver Tabla 3-1 (Olivera, 2018, p. 119).

Tabla 3-1: Valores coeficiente de esfericidad y peso específico de materiales filtrantes

Material	Material Coeficiente de Esfericidad	Peso específico (g/cm3)
Arena	0.75 – 0.80	2.65 – 2.67
Antracita	0.70 -0.75	1.50 – 1.70
Granete	0.75 – 0.85	4.00 – 4.20

Fuente: Olivera, 2018.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

1.1.7.6. *Espesor de las capas filtrantes*

En las plantas de tratamiento de agua que cuentan con filtros de más de dos capas, es relativamente difícil fijar un espesor de medio filtrante para el cual los filtros funcionan constantemente en condiciones ideales, porque la calidad del afluente varía durante el año. En la Planta de tratamiento SEMAPA, se utiliza un lecho filtrante mixto de agregados con alturas variables dispuestas según recomendaciones y valores aludidos, ver Tabla 4-1, (Olivera, 2018, p. 119):

Tabla 4-1: Espesor de las capas del medio filtrante

Medio filtrante	Altura (m)
Antracita	0.55
Arena	0.20
Grava	0.45

Fuente: Olivera, 2018.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

1.1.8. *Bambú y yuca como lechos filtrantes*

Los lechos filtrantes están compuestos por materiales orgánicos e inorgánicos. El bambú es un material que tiene la capacidad de absorber nitrógeno, fósforo y metales pesados; la fibra de bambú es biodegradable con posibilidad de mezclarse con otras fibras textiles, tiene la característica de ser un biofiltro biodegradable a largo plazo siendo amigable con el ambiente.

El bambú tiene las mismas ventajas que la yuca, con capacidad de adsorción que presentan las partículas frente al Cr^{+6} . El bambú triturado sirve para la determinación del porcentaje de remoción, tomando en cuenta la metodología descrita por Severiche y González (2013), citado por (Martínez Jiménez et al. 2018, pp. 595-607).

La yuca es un medio de materia alternativa que se utiliza como lecho filtrante. El investigador Arcos Henry (2017), menciona que utilizó la yuca (*Manihot esculenta*) para adsorber cromo (VI) de disoluciones acuosas.

Se estudió la influencia de la concentración y de la temperatura en la cinética de adsorción y se realizaron pruebas para determinar la influencia de la concentración del adsorbente en la capacidad de remoción (Acosta Arguello, Barraza Yance y Albis Arrieta 2017, p. 4), teniendo como resultado una remoción de 40 a 30 miligramos por litro, a mayor tiempo mayor concentración y remoción de cromo (VI).

1.1.8.1. Taxonomía del bambú y yuca

Tabla 5-1: Taxonomía de *Guadúa Angustifolia Kunth* – bambú

Reino	Vegetal
División	<i>Espermatophyta</i>
Subdivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Monocotyledoneae</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Género	<i>Guadúa</i>
Especie	<i>guadúa angustifolia kunth</i>

Fuente: Araujo, 2015.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

Tabla 6-1: Taxonomía de *Manihot Esculenta Crantz* – yuca

Reino	Vegetal
División	<i>Spermatophyta</i>
Subdivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Dicotyledoneae</i>
Orden	<i>Euphorbiales</i>
Familia	<i>Euphorbiaceae</i>
Tribu	<i>Manihotae</i>
Género	<i>Manihot</i>

Fuente: Guerra & Mederos, 2011.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

1.1.8.2. Características químicas del bambú y la yuca

Existen estudios sobre la relación que existe entre las fibras naturales de los metales pesados y componentes químicos, en la eliminación de metales pesados usando lignina (Carrillo, 2017, p. 13). En la composición química del bambú y yuca se ha encontrado la presencia de celulosa, hemicelulosa, almidón y lignina, sus componentes principales varían según las condiciones climáticas, la especie, el tipo de suelo y el tipo de procesamiento de la fibra (Carrillo, 2017, p. 13).

Tabla 7-1: Porcentajes de los componentes químicos de bambú

Especie	Agua %	Alcohol benceno %	Lignina %	Pentosa %	Ceniza %	Celulosa %
<i>Guadúa Angustifolia Kunth</i>	10.09	4.03	19.72	11.65	5.16	59.77

Fuente: Flores, 2018.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

Tabla 8-1: Porcentajes de los componentes químicos de yuca

Componentes	Cenizas	Fibra	Proteínas	Nitrógeno	Carbohidratos	Lignina	Celulosa	Solubilidad en alcohol benceno
Porcentaje	14.80 %	10.57 %	5.91 %	0.95 %	51.49 %	12.52 %	17.23 %	4.73 %

Fuente: Marcillo, Vivas, & Noles, 2012.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

1.2. Bases conceptuales

1.2.1. Bioadsorción

Es un sólido natural que tiene la capacidad de retener sobre su superficie un componente presente en corrientes líquidas o gaseosas (Cortés, 2015, pp. 98-101). Siendo un proceso físico-químico de absorción de moléculas e iones, aplicado en la remoción de metales pesados en aguas residuales provenientes del sector industrial (Tejada et al., 2014), pp. 109-123).

Se caracteriza por la interacción entre la biomasa y el metal (Guastay y Tinoco, 2020: p. 53) en altas superficies con inercia química frente al medio en el que se va a utilizar (Química, 2000; citado en Cortés, 2015, pp. 98-101). Constituyendo así un proceso de remoción de metales que consta de una fase sólida de biomasa y una fase líquida de agua contaminada o disueltos, que se desean tratar y absorber los iones de los metales pesados (Tejada et al., 2014, p. 112), es un proceso no enzimático. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación y atracción electrostática (Tejada et al., 2014, p. 112).

1.2.2. Bioacumulación

Es la adsorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación al interior de las células llamado también sistema de transporte de membrana que internaliza el metal pesado presente en la biomasa viva (Marrero et al., 2010, p. 175; Tejada et al., 2014, p. 112).

La bioacumulación de metales se relaciona con la resistencia microbiana, mediante la habilidad de los microorganismos para prevenir el aumento intracelular de metales y por la incapacidad de

bioacumularse por el mecanismo de resistencia que limita la biodisponibilidad del metal (Bautista, 2008, p. 22).

Tabla 9-1: Ventajas y desventajas de los mecanismos de captación de iones metálicos

Bioadsorción	Bioacumulación
Proceso pasivo	Proceso activo
Biomasa sin vida	Biomasa con vida
Metales unidos a la superficie de la pared celular	Metales unidos a la superficie de la pared celular y acumulados en el interior de la célula
Proceso reversible	Proceso parcialmente reversible
No requiere nutrientes	Requiere nutrientes
Rápido	Lento
No es controlado por el metabolismo	Controlado por el metabolismo
No se ve afectado por el efecto tóxico de los contaminantes	Se ve afectado por el efecto tóxico de los contaminantes
No hay crecimiento celular	Implica crecimiento celular
Alcanza concentraciones intermedias de equilibrio de los contaminantes	Alcanza muy bajas concentraciones de equilibrio de los contaminantes
Posibilidad de recuperación y reúso de los contaminantes mediante un proceso de desorción	Los metales no pueden recuperarse
La biomasa puede regenerarse y emplearse en varios ciclos de adsorción	La biomasa no puede recuperarse

Fuente: Bautista, 2008.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

1.3. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013 (muestras de aguas residuales)

Se debe cumplir la guía del manejo y conservación para no contaminar la muestra. Esta normativa se aplica cuando no es posible el análisis en el sitio de muestreo y tiene que trasladarse al laboratorio para realizar el respectivo análisis. En el anexo 1 se observa a mayor detalle los ítems que se describen a continuación (Normativa Técnica Ecuatoriana Voluntaria 2169:98, 2013, pp. 3-4).

- Manejo y conservación de las muestras de aguas
- Preparación de recipiente (recipientes de muestras para análisis químico y recipientes de muestras para análisis microbiológico)
- Llenado del recipiente
- Refrigeración y congelación de las muestras
- Identificación de las muestras
- Transporte de las muestras
- Recepción de las muestras
- Recepción de las muestras en el laboratorio

1.4. Marco legal

1.4.1. Constitución de la República del Ecuador

Art.12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Ministerio del Ambiente, 2017; citado en Guingla y Tinoco, 2020, pp. 62-63).

Art. 15.- El Estado promoverá en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (Ministerio del Ambiente, 2017; citado en Guingla y Tinoco, 2020, pp. 62-63).

1.4.2. Norma calidad ambiental y descarga efluentes: Recurso agua: Libro VI, Anexo 1

La presente norma dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, tiene como principal objetivo proteger la calidad del agua para preservar y salvaguardar la integridad de las personas. Establece (Ministerio del Ambiente, 2017; citado en Guingla y Tinoco, 2020, pp. 62-63):

- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado (Ministerio del Ambiente, 2017; citado en Guingla y Tinoco, 2020, pp. 62-63).
- Los criterios de calidad del agua para sus distintos usos, métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes (Ministerio del Ambiente, 2017; citado en Guingla y Tinoco, 2020, pp. 62-63).
- Criterios de calidad del agua para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios (Ministerio del Ambiente, 2017; citado en Guingla y Tinoco, 2020, pp. 62-63).
- La preservación del agua para la flora y fauna es de gran beneficio para las actividades destinadas a conservar la vida natural y su ecosistema, permitiendo su reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas (Ministerio del Ambiente, 2017; citado en Guingla y Tinoco, 2020, pp. 62-63).

Tabla 10-1: 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	Nmp/100 ml	mg/l	Remoción > al 99.9 %
Fecales	Color real	mg/l	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	C ⁶⁺	mg/l	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D. B. O5.	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
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
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		mg/l	1.0
Sólidos suspendidos totales		mg/l	100
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

Fuente: Norma de calidad ambiental Libro VI Anexo 1, 2017, 2020.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

Tabla 11-1: Límites de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Ácidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	5.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.1
Carbonatos	CO ₃	mg/l	5.0
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado
Cianuro total	CN-	mg/l	0.1
Cobalto total	Co	mg/l	0.5
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	1.0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0.2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B. O ₅ .	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1.0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25.0
Hidrocarburos totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10.0
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0.01
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrógeno total Kjeldahl	N		40
Plata	Ag		0.5
Plomo	Pb		0.5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos sedimentables		ml/l	20
Sólidos suspendidos totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0.5
Sulfatos	SO ₄ =	mg/	400
Sulfuros	S	mg/	1.0
Temperatura	°C	mg/l	< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2.0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1.0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1.0
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0.05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados carbamatos totales.	mg/l	0.1
Vanadio	V	mg/l	5.0
Zinc	Zn	mg/l	10

Fuente: Norma de calidad ambiental Libro VI Anexo 1, 2017, 2020.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Localización del estudio

La presente investigación se realizó en la Industria Minera Panantza-San Carlos, ubicada en la parroquia Santiago de Panantza del cantón San Juan Bosco, provincia de Morona Santiago.

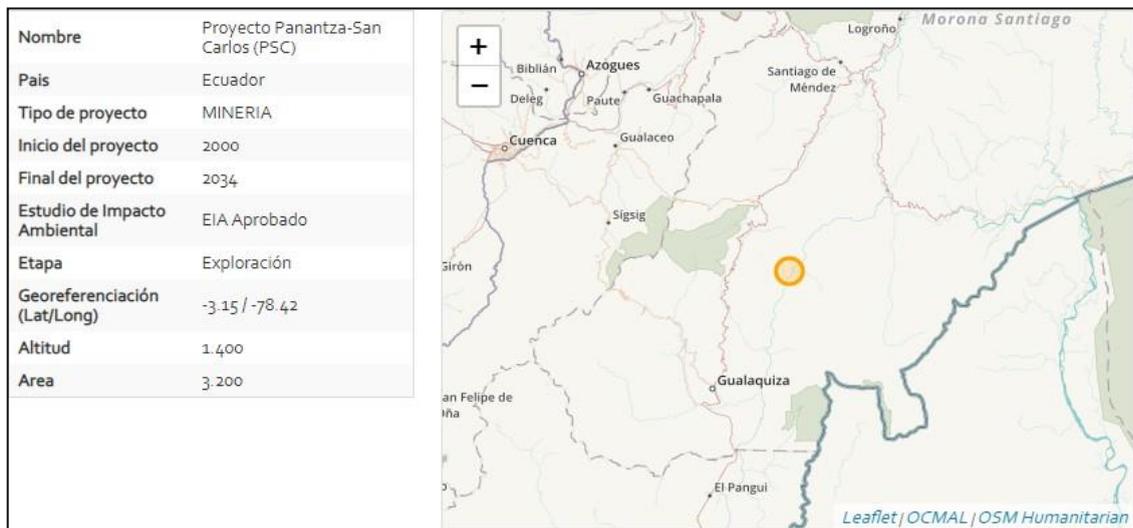


Figura 1-2: Localización de la Minería

Realizado por: Pavón, Z.2021.

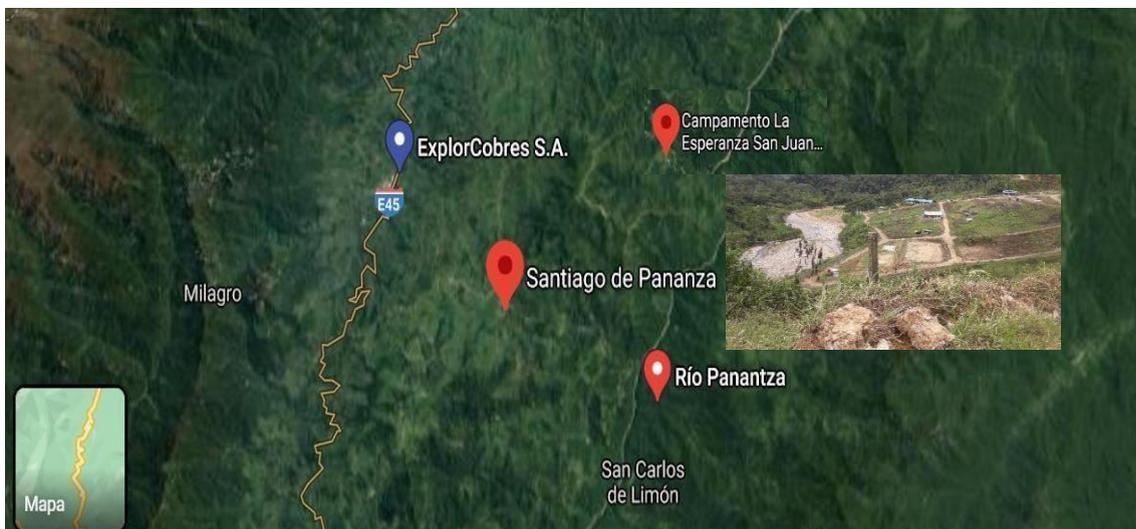


Figura 2-2: Localización de la Minería

Realizado por: Google Earth.; Pavón, Z.2021.

La posición Geográfica UTM-WSG84:

Tabla 1-2: Coordenadas de la minera Panantza-San Carlos

	Coordenadas	Coordenadas
Puntos	X (m E)	Y (m S)
1	783780.00	9649698.00

Fuente: Google Earth, 2021.

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

Sus límites son:

- Norte: cantón Limón Indanza
- Sur: parroquia San Jacinto de Wakambeis
- Este: parroquia San Carlos de Limón
- Oeste: parroquia San Juan Bosco

2.2. Tipo de investigación

El presente trabajo es de carácter experimental, de campo y de laboratorio, lo que permitió evaluar la eficiencia de dos biofiltros con dos especies endémicas de la zona para establecer los resultados en la reducción del Cr^{+6} .

2.3. Diseño de la investigación

2.3.1. *Diseño experimental*

El análisis estadístico que se utilizó fue ANOVA de un factor, en el software SPSS como herramienta estadística, permitiendo determinar si existen diferencias significativas entre las medias de tres componentes o más grupos, teniendo en la investigación tres componentes:

- Un filtro M (sin nada) es un dato constante del laboratorio / grupo de control
- Un filtro A (bambú)
- Un filtro B (yuca)

Dentro del ANOVA de un factor, se consideran las pruebas de supuestos para comprobar si el tratamiento es significativo o no, en donde:

- La normalidad, es la que alcanza una distribución normal y sigue una línea de tendencia y el coeficiente de Kurtosis está dentro del rango de -2 hasta +2. La prueba de normalidad realizada fue la de Shapiro-Wilk puesto que los datos en estudio fueron menores a 50 (Martínez, 2015 y Amat, 2017, pp. 595-607).

- La homogeneidad de varianzas, es cuando la distribución de cada una de las varianzas para cada tratamiento a lo largo del modelo es simétrica y centrada (Amat, 2017, pp. 1-2). La prueba de homogeneidad de varianzas realizada fue la de Levene, para el supuesto $p > 0.05$, es decir no hay diferencia de varianzas.

Teniendo en cuenta la hipótesis nula y alternativa:

$$H_0 = Sig < 0.05, \text{ se rechaza la } H_0 \quad (Ec. 2)$$

$$H_1 = Sig > 0.05, \text{ se acepta la } H_1 \quad (Ec. 3)$$

Si el tratamiento es significativo se utilizarán las pruebas Post Hoc de Tukey y Subconjuntos Homogéneos, para identificar la eficiencia de los biofiltros, con el porcentaje de diferentes parámetros de turbidez, sólidos suspendidos, pH y conductividad eléctrica, para establecer el porcentaje de reducción del Cr^{+6} (Carrillo, 2017, p. 51).

2.4. Toma de muestras del agua residual

La toma de muestras del agua residual, se realizó de la descarga aguas abajo de la Industria Minera Panantza-San Carlos, ubicada en la parroquia Santiago de Panantza del cantón San Juan Bosco, provincia de Morona Santiago. Estuvo compuesta de manera aleatoria por 90 L durante cinco días, tres veces al día, en horarios de 08h00, 13h00 y 18h00, para posteriormente enviarlas laboratorio para la medición del porcentaje de Cr^{+6} .

Tabla 2-2: Toma de muestras antes de aplicar los biofiltros

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
08h00	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L
13h00	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L
18h00	6 L	6 L	6 L	6 L	6 L

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

Se tomaron muestras del agua antes y después del proceso, teniendo cinco réplicas por cada biofiltro, con un total de quince réplicas para mejorar el nivel de confianza de la muestra.

2.5. Determinación del Cr^{+6}

Para determinar este parámetro se utilizó Standard Methods 3500 - Cr - 3111B.

2.6. Selección y obtención de la fibra del bambú y la yuca

2.6.1. *Proceso de obtención de la fibra del bambú*

En la obtención de la fibra del bambú, se utilizó la pulpa del tallo mediante la técnica del raspado, lavado y secado (Cobana et al., 2007, pp. 77-83). La etapa de raspado tiene por objeto desmenuzar la pulpa y romper las paredes celulares para facilitar la liberación de los gránulos de almidón. Después de la etapa del raspado, se realizó un proceso de ablandado y desfibre de la pulpa, colocando las fibras de bambú en remojo con agua por varios días, y finalmente se realizó el proceso de ripeado (golpeado) a mano (Cobana et al., 2007, pp. 77-83).

Una vez obtenida la fibra, existieron residuos de bagazo, mismos que presentaron un color amarillento sucio, por lo cual se realizó un proceso de lavado y eliminación de impurezas y secado de las fibras al sol durante 72 horas (Estrada 2010; citado en Flores, 2018, p. 45).

2.6.2. *Proceso de obtención de la fibra de la yuca*

En la obtención de la fibra de yuca, se utilizó la pulpa del tallo mediante la técnica del raspado, lavado y secado (Cobana et al., 2007, pp. 77-83). Una vez concluida la etapa del raspado, se realizó un proceso de ablandado y desfibre de la pulpa, colocando los tallos de yuca en remojo con agua por varios días, para posteriormente desarrollar el proceso de ripeado (golpeado) a mano (Cobana et al., 2007, pp. 77-83).

Una vez obtenida la fibra, se encontraron residuos de bagazo y un color blanquecino sucio, por lo cual realizó un proceso de lavado y eliminación de impurezas, y secado de las fibras al sol durante 72 horas (Carrillo, 2017, p. 29).

2.7. Construcción del Biofiltro

El filtro que se seleccionó fue de plástico y de forma cilíndrica (Higuera, et al., 2008, p. 27), teniendo como soporte una estructura metálica de 1.80 metros. En la parte superior se encuentra un recipiente de seis litros para la captación del agua residual, este está conectado a una llave de paso y a un tubo de descarga, en el centro se encuentra el filtro y en la parte inferior un recipiente con la captación del agua tratada (Higuera, et al., 2008, p. 27).

Los materiales que se utilizaron para la construcción del biofiltro fueron los siguientes:

- Estructura de soporte metálica
- 2 neoplos
- 1 tubería
- 2 uniones
- 3 recipientes de plástico
- 2 llaves de paso

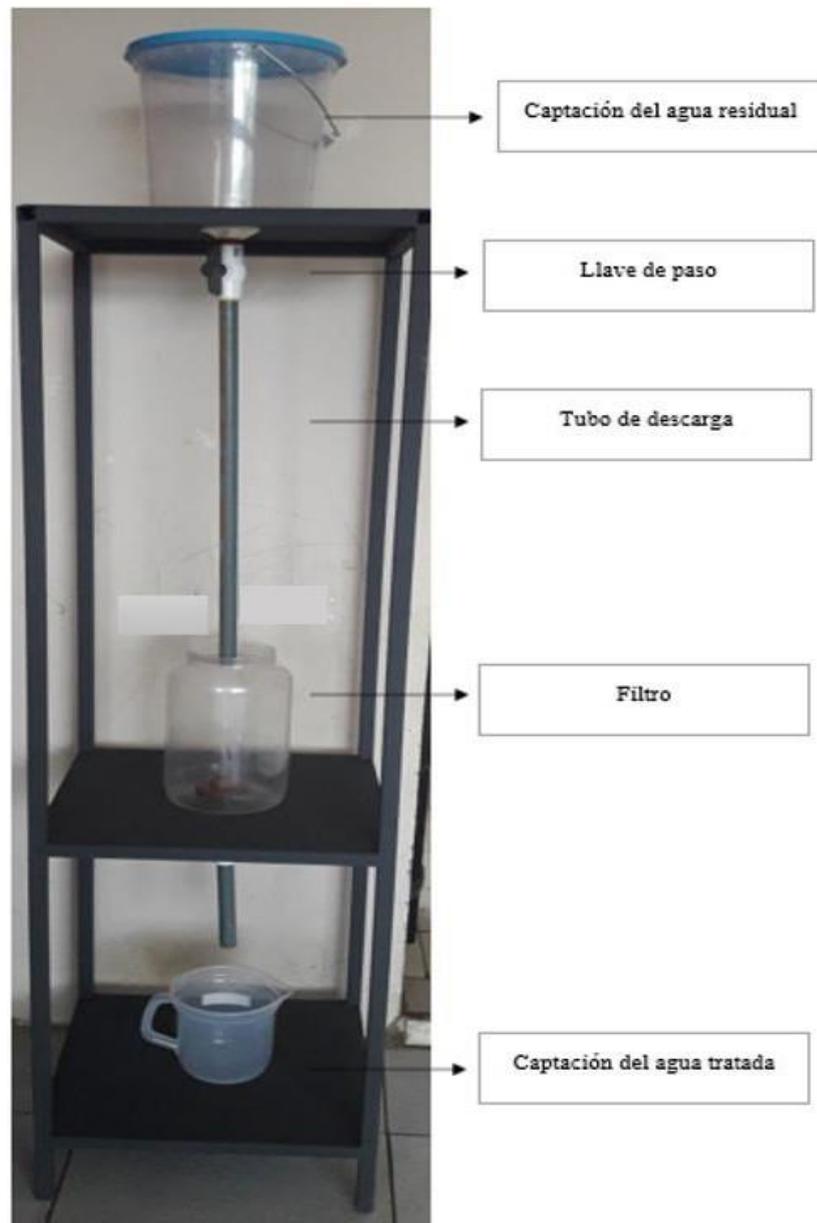


Figura 3-2: Biofiltro

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En la preparación del medio filtrante se utilizaron:

- 2kg de carbón activado
- 3kg de arena
- 3kg de piedra
- 5kg de bambú
- 5kg de yuca

El biofiltro con bambú, contuvo una capa de carbón activado, arena, bambú, arena, bambú y piedra, y el biofiltro con yuca contuvo una capa de carbón activado, arena, yuca, arena, yuca y piedra especificadas a continuación:

La capa de carbón activado tiene una masa de 0.14 kg con un espesor de 0.01 m; la siguiente capa de arena con un peso de 1 kg y espesor de 0.02 m; la capa posterior es de bambú con peso de 0.05 kg y un espesor 0,03 m; a continuación, otra capa de arena con un peso de 1 kg y un espesor de 0.02 m; otra capa de bambú con un peso de 0.02 kg y un espesor de 0.015 m; y finalmente una capa de piedra con 1 kg de peso y un espesor de 0.015 m. El mismo procedimiento se realizó en el biofiltro con yuca (Higuera, Arroyave y Flórez 2008, p. 110; citado por Carrillo Barahona 2017, p. 58).

2.8. Prueba del biofiltro en el agua residual

Una vez tomadas las muestras, construido el biofiltro y seleccionado el medio filtrante, se realizaron las respectivas pruebas para determinar si existe o no la reducción de Cr^{+6} utilizando el bambú y la yuca como biofiltros, bajo los siguientes componentes:

- Un filtro M (sin nada) es un dato constante del laboratorio / grupo de control
- Un filtro A (bambú)
- Un filtro B (yuca)

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados



Figura 1-3: Muestras y parámetros

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En la Figura 1-3 se observan las muestras antes y después del tratamiento del agua residual con sus respectivas réplicas, de la turbidez, sólidos suspendidos, pH, conductividad eléctrica y Cr^{+6} .

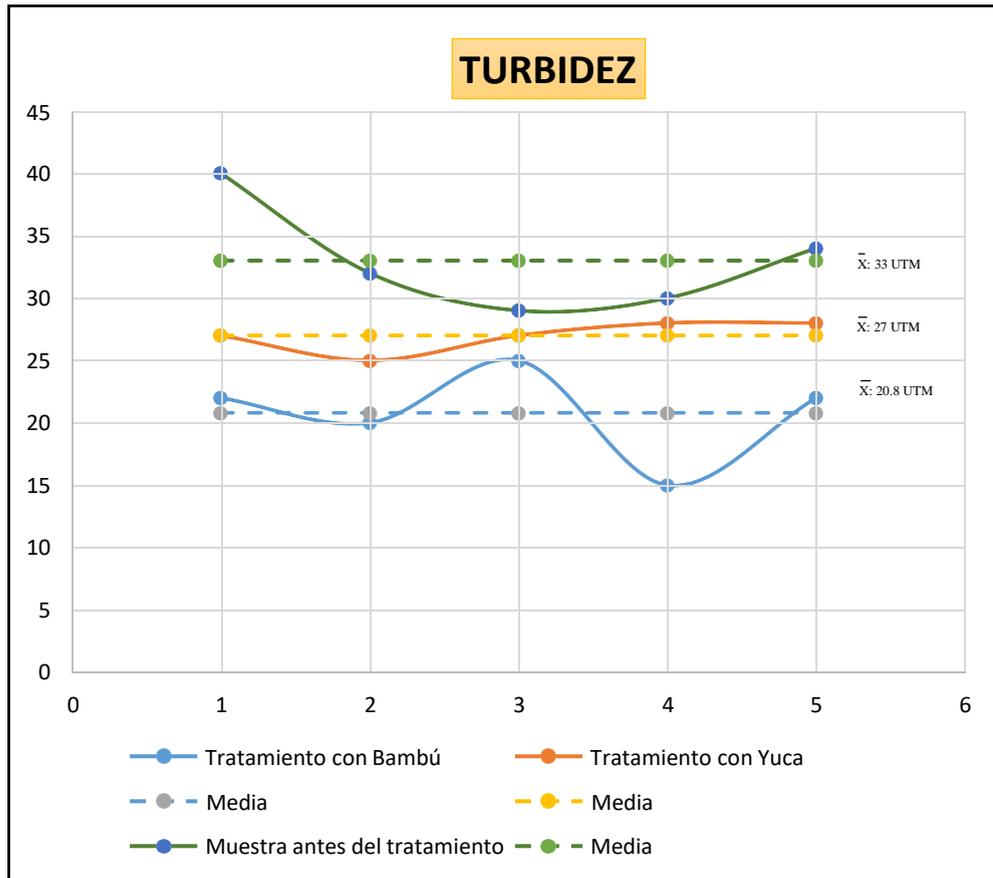


Gráfico 1-3: Turbidez

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En el Gráfico 1-3 se detalla la variabilidad de la turbidez en las muestras antes y después del tratamiento del agua residual con sus respectivas réplicas, se evidenció que existe una disminución de la turbidez del agua después de los tratamientos, existiendo mayor reducción del elemento Cr^{+6} con el bambú como biofiltro.

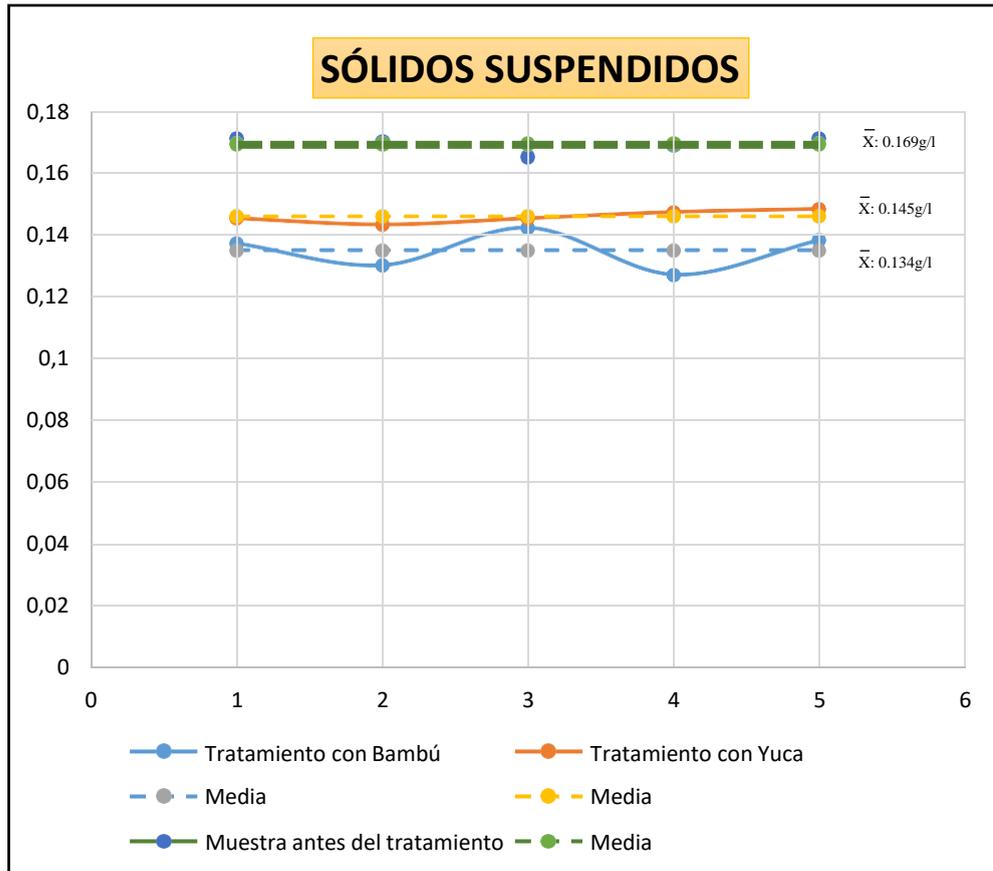


Gráfico 2-3: Sólidos suspendidos

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En el Gráfico 2-3 se observa el cambio en la cantidad de sólidos suspendidos de las muestras de agua antes y después del tratamiento, se determinó que existe una disminución de los sólidos suspendidos del agua utilizando el bambú como medio filtrante.

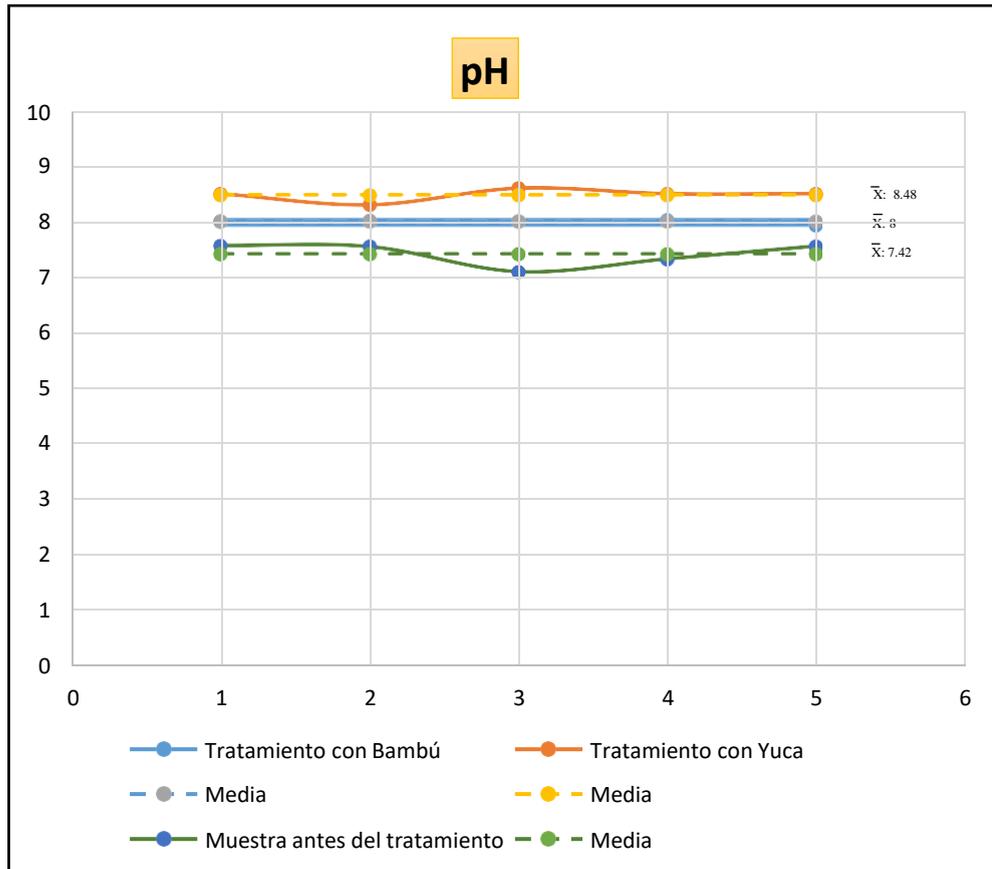


Gráfico 3-3: Cambio del pH en muestras de agua

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En el Gráfico 3-3 se detallan los cambios en el pH de las muestras de agua, antes y después del tratamiento, determinando que la variación es mínima, es decir, no existe diferencia significativa en la disminución del pH en el agua residual tratada.

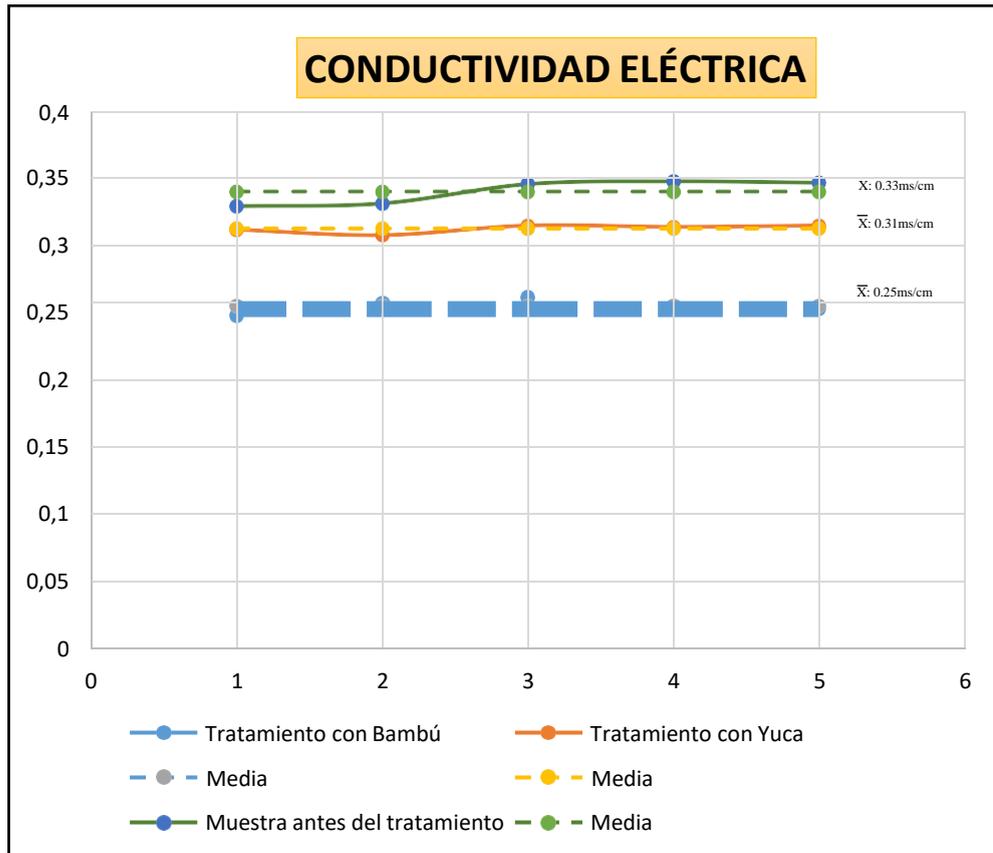


Gráfico 4-3: Conductividad eléctrica

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En el Gráfico 4-3 se observa la variabilidad en la conductividad eléctrica de las muestras de agua residual antes y después del tratamiento, determinando que existe una disminución de la conductividad eléctrica del agua utilizando el bambú como medio filtrante.

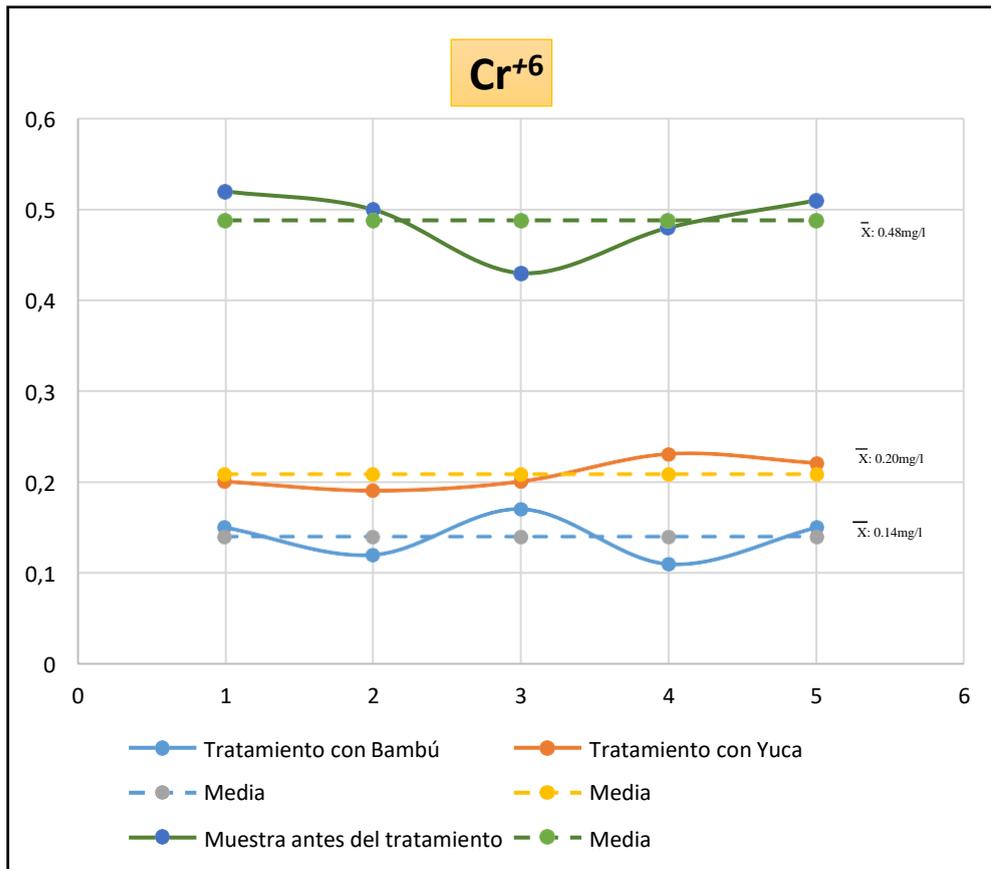


Gráfico 5-3: Variabilidad del Cr^{+6}

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En el Gráfico 5-3 se detalla la reducción de Cr^{+6} en las muestras de agua residual antes y después del tratamiento, concluyendo que existe mayor reducción de este metal cuando se utilizó el bambú como biofiltro.

3.2. Diseño experimental

3.2.1. Análisis estadístico de la Turbidez

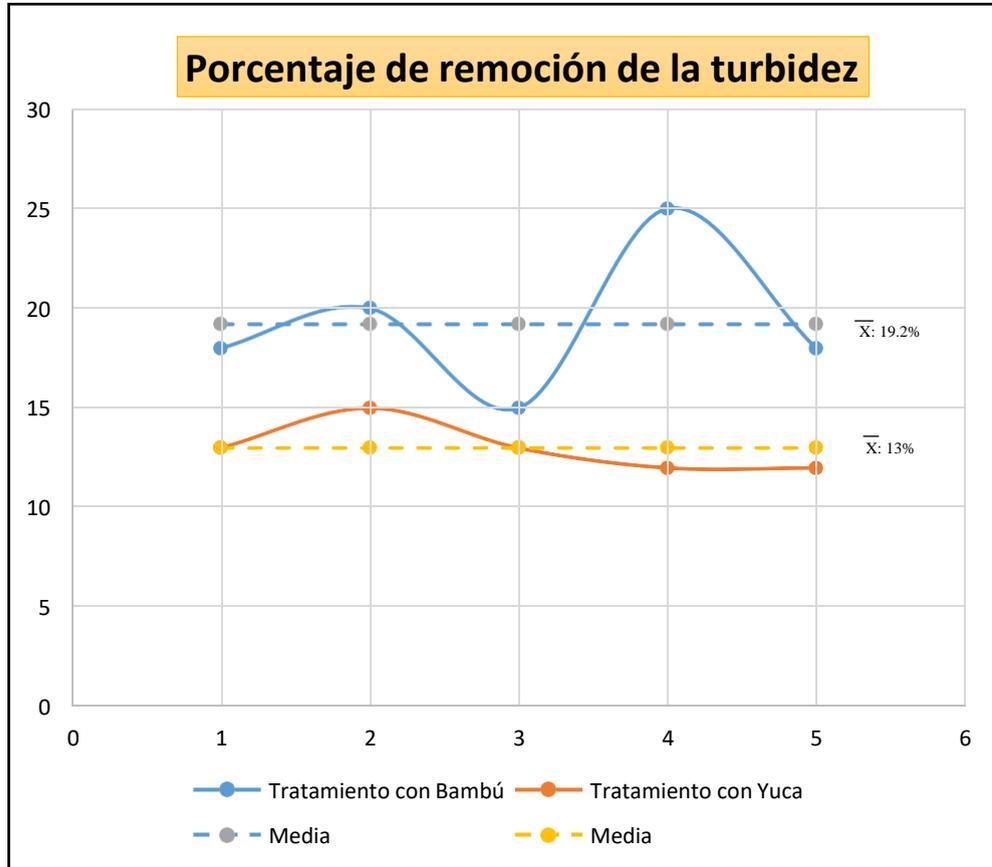


Gráfico 6-3: Porcentaje de remoción de la turbidez

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En el gráfico 6-3, la muestra inicial de la turbiedad fue de 40 UTM, al pasar por los biofiltros A y B se redujo su carga contaminante en 20.8 UTM y 27 UTM, respectivamente. La reducción de la turbiedad en el tratamiento utilizado fue significativa, y generó una mejora de la calidad de agua en porcentajes de 19.2 % al utilizar el bambú y 13 % al utilizar la yuca. El estudio estadístico demostró que el biofiltro con bambú tuvo mayor porcentaje de reducción de la turbidez. Teniendo un nivel promedio comparado con la investigación “Reducción de color y turbidez en aguas residuales del Camal Municipal De Manta, mediante biofiltración con cáscara de coco (*cocos nucifera*) y cascarilla de arroz (*oryza sativa*), enero 2020” (Cedeño y Ayón, 2020, p. 1), que tuvo una eficiencia entre 2.19% a 23.04%, al tener un tratamiento similar.

Tabla: 1-3: Prueba de normalidad de la turbidez

FILTRO	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
M	0.901	5	0.417
A	0.927	5	0.579
B	0.833	5	0.146

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

La tabla 1-3 utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para la prueba de normalidad, mostrando que existe una distribución normal de los datos.

Ho: Existe normalidad entres los datos > 0.05

Hi: No existe normalidad entre los datos < 0.05

De acuerdo con las ecuaciones Ec. 2 y Ec. 3, se acepta la hipótesis nula. Es decir, las fibras de bambú y/o yuca, utilizadas como biofiltros disminuyen las concentraciones de Cr^{+6} en las aguas residuales de la Minera Panantza-San Carlos. Además, se determinó que el bambú tiene mayores beneficios en el proceso reducción de Cr^{+6} .

Tabla: 2-3: Prueba de homogeneidad de varianzas de la turbidez

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1.989	2	12	0.179

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 2-3, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene indica que se cumple con el supuesto, puesto que, $p > 0.05$, en otras palabras, no existe diferencia de varianzas.

Tabla 3-3: ANOVA de un factor de la turbidez

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	372.133	2	186.067	16.322	0.000
Dentro de grupos	136.800	12	11.400		
Total	508.933	14			

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la Tabla 3-3 se evidencia que existe una diferencia significativa para la reducción de turbidez en el tratamiento de aguas residuales después del tratamiento por biofiltros, por lo cual, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Ho: Con la implementación de tres filtros no existe diferencia significativa en la turbidez.

Hi: Con la implementación de tres filtros existe diferencia significativa en la turbidez.

Sig < 0,05 rechazamos la Ho

Sig > 0,05 aceptamos Hi

Tabla 4-3: Prueba post hoc de la turbidez

(I) FILTRO	(J) FILTRO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
M	A	12.20000*	2.13542	0.000	6.2474	18.1526
	B	6.00000*	2.13542	0.048	0.0474	11.9526
A	M	-12.20000*	2.13542	0.000	-18.1526	-6.2474
	B	-6.20000*	2.13542	0.041	-12.1526	-0.2474
B	M	-6.00000*	2.13542	0.048	-11.9526	-0.0474
	A	6.20000*	2.13542	0.041	0.2474	12.1526

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 4-3, se muestra que no existen diferencias significativas entre los filtros, porque $p < 0.05$; es decir, la reducción de la turbidez en las aguas residuales después de pasar por los tratamientos es mínima.

Tabla 5-3: Subconjuntos homogéneos de la turbidez

FILTRO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
A	5	20.8000		
B	5		27.0000	
M	5			33.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 5-3 se observan los valores de las medias de cada filtro, siendo el mejor el filtro A (bambú) puesto que tiene el número más bajo, esto indica que tiene la mayor reducción de la turbidez de las muestras de agua analizadas.

3.2.2. Análisis estadístico de los Sólidos suspendidos

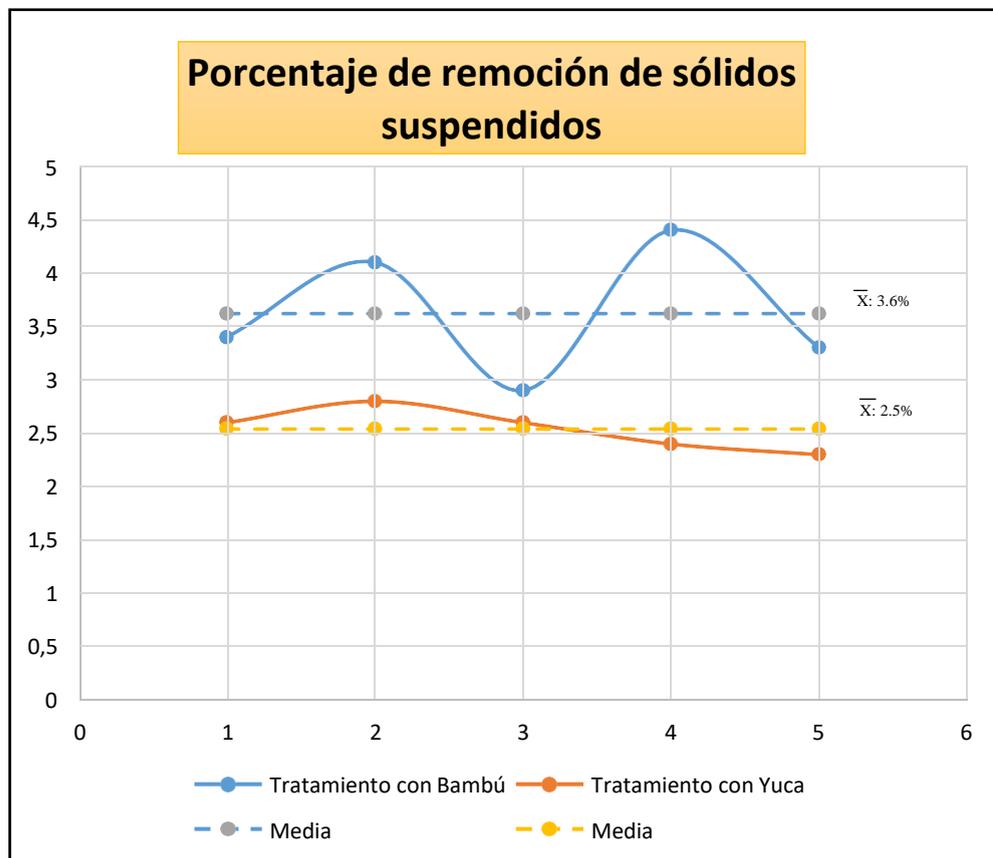


Gráfico 7-3. Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En el Gráfico 7-3, los sólidos suspendidos en la muestra inicial fueron de 0.171 (g/l), al pasar por los biofiltros A y B se redujo su carga contaminante en 0.13 y 0.15 (g/l), respectivamente. La reducción de los sólidos suspendidos en el tratamiento utilizado fue significativa; y evidenció una mejora en la calidad de agua del 3.62 % al utilizar fibras de bambú y 2.54% al utilizar fibras de yuca. En comparación con la investigación “Determinar la reducción de concentración de Cr^{+6} en muestras de agua de la curtiembre el nuevo mundo en la ciudad de Ambato utilizando la cabuya como biofiltro a diferentes longitudes” que obtuvo un porcentaje de reducción en sólidos suspendidos del 37% y 27% (Carrillo, et al., 2017, p. 73), la reducción de sólidos suspendidos con fibras de bambú y yuca es mínima.

Tabla 6-3: Prueba de normalidad de sólidos suspendidos

FILTRO	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
M	0.806	5	0.090
A	0.939	5	0.660
B	0.953	5	0.758

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021

En la tabla 6-3, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, mostrando que existe una distribución normal de los datos, y se acepta la H_0 .

H_0 : Existe normalidad entres los datos > 0.05

H_1 : No existe normalidad entre los datos < 0.05

Es decir, el tratamiento con fibras de bambú generó mayor significancia y distribución de los datos con tendencia normal en lo referente a sólidos suspendidos.

Tabla 7-3: Prueba de homogeneidad de varianzas de los sólidos suspendidos

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
6.314	2	12	0.013

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 7-3 La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, indica que se cumple con el supuesto puesto que, $p > 0.05$, es decir, no existe diferencia de varianzas.

Tabla 8-3: ANOVA de un factor de varianzas de los sólidos suspendidos

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.003	2	0.002	97.325	0.000
Dentro de grupos	0.000	12	0.000		
Total	0.003	14			

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021

En la tabla 8-3 se evidencia que existe una diferencia significativa para la reducción de los sólidos suspendidos en el tratamiento de aguas residuales al pasar el agua por los biofiltros, por ello se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Ho: Con la implementación de tres filtros no existe diferencia significativa en los sólidos suspendidos.

Hi: Con la implementación de tres filtros existe diferencia significativa en los sólidos suspendidos.

Sig < 0.05 rechazamos la Ho

Sig > 0.05 aceptamos Hi

Tabla 9-3: Prueba post hoc de los sólidos suspendidos

(I) FILTRO	(J) FILTRO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	g	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
M	A	0.03440*	0.00252	0.000	0.0274	0.0414
	B	0.02360*	0.00252	0.000	0.0166	0.0306
A	M	-0.03440*	0.00252	0.000	-0.0414	-0.0274
	B	-0.01080*	0.00252	0.004	-0.0178	-0.0038
B	M	-0.02360*	0.00252	0.000	-0.0306	-0.0166
	A	0.01080*	0.00252	0.004	0.0038	0.0178

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021

En la tabla 9-3 se observa que existen diferencias significativas entre los filtros, porque $p < 0.05$.

Tabla 10-3: Subconjunto homogéneos de los sólidos suspendidos

FILTRO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
A	5	0.1348		
B	5		0.1456	
M	5			0.1692
Sig.		1.000	1.000	1.000

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 10-3 se observan los valores de las medias de cada filtro, siendo el mejor el filtro A (bambú) ya que tiene el número más bajo, es decir, tiene la mayor reducción de los sólidos suspendidos.

3.2.2. Análisis estadístico del pH

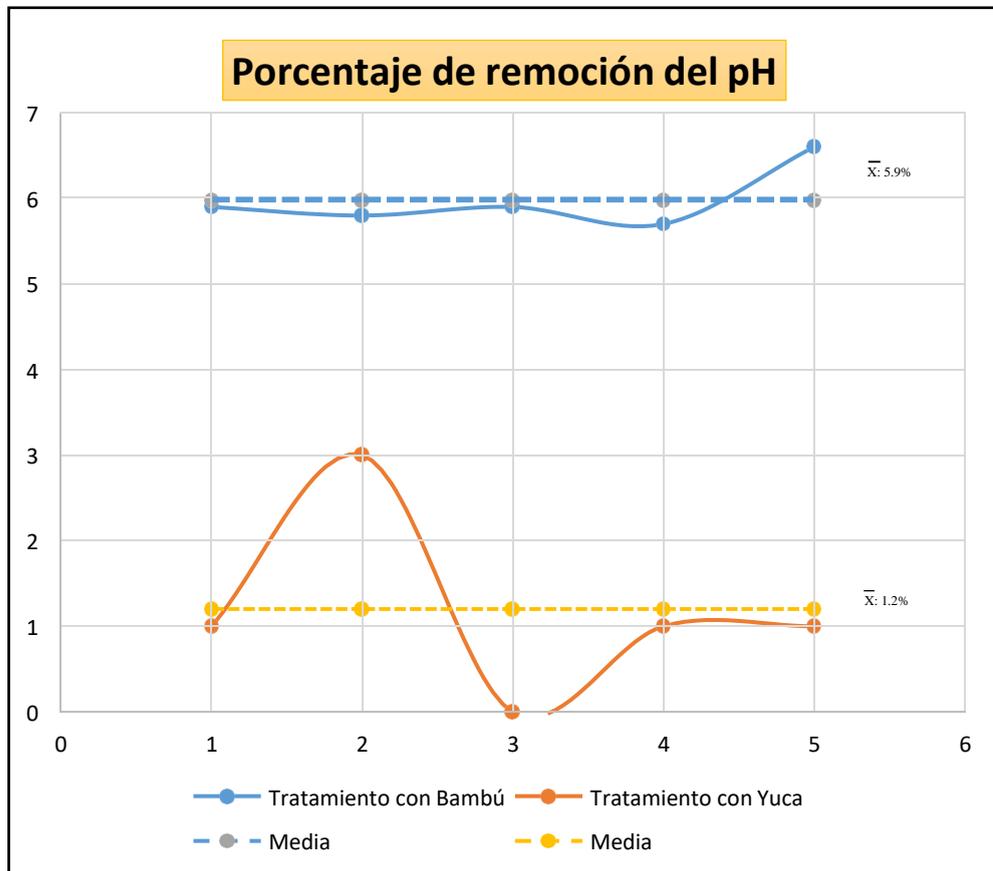


Gráfico 8-3: Porcentaje de remoción del pH

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En el Gráfico 8-3, el pH en la muestra inicial fue de 7.42 al pasar por los biofiltros A y B se obtuvo un pH de 8 y 8.4 respectivamente. El pH en el tratamiento utilizado fue poco significativo, con un 5.9 % y 1.2 % de bambú y yuca respectivamente. El estudio estadístico demostró que no hubo diferencias significativas en cuanto a la reducción del pH.

El porcentaje de reducción del pH en mi investigación fue del 5.9 % y 1.2% de bambú y yuca respectivamente, teniendo un nivel promedio comparado con la investigación “Determinar la reducción de concentración de Cr^{+6} en muestras de agua de la curtiembre el nuevo mundo en la ciudad de Ambato utilizando la cabuya como biofiltro a diferentes longitudes” con un porcentaje de reducción del 1.11% y 1.68% (Carrillo, 2017; Puente y Santillán, 2019, p. 69), al tener un tratamiento similar.

Tabla 11-3: Prueba de normalidad del pH

FILTRO	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
M	0.799	5	0.079
A	0.762	5	0.039
B	0.828	5	0.135

Realizado por: Pavón Jaramillo Zorayda, 2021.

En la tabla 11-3 se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk debido a que tenemos menos de 50 datos. La prueba de normalidad nos muestra que existe una distribución normal de los datos, ya que se acepta la H_0 con un sig. > 0.05 .

H_0 : Existe normalidad entres los datos > 0.05

H_1 : No existe normalidad entre los datos < 0.05

Tabla 12-3: Prueba de homogeneidad de varianzas del pH

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
5.459	2	12	0.021

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la Tabla 12-3 La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene nos indica que se cumple con el supuesto ya que $p > 0.05$ comprobando que no existe diferencia de varianzas.

Tabla 13-3: ANOVA de un factor del pH

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2.807	2	1.404	75.676	0.000
Dentro de grupos	0.223	12	0.019		
Total	3.030	14			

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 13-3 se evidencia que existe una mínima diferencia significativa en cuanto al pH, en el tratamiento de aguas residuales al pasar el agua por los biofiltros, por ello se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

Ho: Con la implementación de tres filtros no existe diferencia significativa en el pH.

Hi: Con la implementación de tres filtros existe diferencia significativa en el pH.

Sig < 0.05 rechazamos la Ho

Sig > 0.05 aceptamos Hi

Tabla 14-3: Prueba post hoc del pH

(I) FILTRO	(J) FILTRO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
M	A	-0.58000*	0.08613	0.000	-0.8201	-0.3399
	B	-1.05800*	0.08613	0.000	-1.2981	-0.8179
A	M	0.58000*	0.08613	0.000	0.3399	0.8201
	B	-0.47800*	0.08613	0.000	-0.7181	-0.2379
B	M	1.05800*	0.08613	0.000	0.8179	1.2981
	A	0.47800*	0.08613	0.000	0.2379	0.7181

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 14-3 se puede evidenciar que existen diferencias significativas entre los filtros porque $p < 0.05$.

Tabla 15-3: Subconjuntos homogéneos del pH

FILTRO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
M	5	7.4220		
A	5		8.0020	
B	5			8.4800
Sig.		1.000	1.000	1.000

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 15-3 se observan los valores de las medias de cada filtro, al compararlos se evidencia que el tratamiento A(bambú), es el mejor al permanecer el pH en un rango intermedio entre los tratamientos.

3.2.4. Análisis estadístico de la conductividad eléctrica

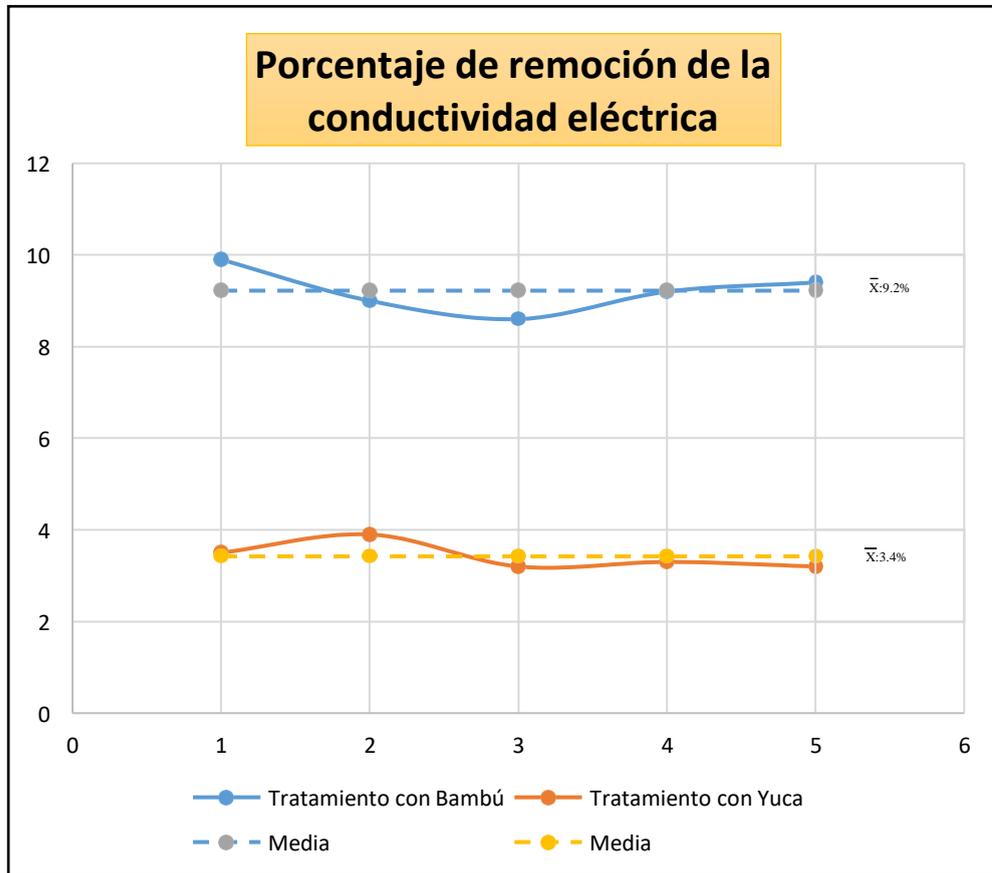


Gráfico 9-3: Porcentaje de remoción de la conductividad eléctrica

Realizado por: Pavón, Z.2021.

En el Gráfico 9-3, se observa que la conductividad eléctrica en la muestra inicial fue de 0.329 Ms/cm, al pasar por los biofiltros A y B se reduce su carga contaminante en 0.254 Ms/cm y 0.312 Ms/cm, respectivamente. La reducción de la conductividad eléctrica en el tratamiento utilizado fue significativa y evidenció una mejora en la calidad del agua del 9.2% y 3.4% con el filtro de bambú y yuca, respectivamente. El estudio estadístico demostró que el biofiltro con bambú tuvo mayor porcentaje de reducción de la conductividad eléctrica.

El porcentaje de reducción de la conductividad eléctrica en la presente investigación fue del 9.2% y 3.4% con la utilización de bambú y yuca, respectivamente, que en contraste con las investigaciones “Estudio del proceso de depuración de aguas residuales industriales provenientes de empresas mineras” en donde la reducción de la conductividad eléctrica corresponde al 18 % y 7 % al utilizar estos biofiltros de manera natural (Pesántez, 2014, pp. 64-65). Así también, en el estudio “Determinar la reducción de concentración de Cr^{+6} en muestras de agua de la curtiembre El Nuevo Mundo en la ciudad de Ambato utilizando la cabuya como biofiltro a diferentes longitudes” con un porcentaje de reducción del 4% y 7% (Carrillo, et al., 2017, p. 81).

Tabla 16-3: Prueba de normalidad de la conductividad eléctrica

FILTRO	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
M	0.780	5	0.056
A	0.994	5	0.992
B	0.831	5	0.141

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 16-3 se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, misma que muestra que existe una distribución normal de los datos, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

Ho: Existe normalidad entres los datos > 0.05

Hi: No existe normalidad entre los datos < 0.05

Se demostró que el tratamiento de biofiltro con bambú tiene mayor significancia y distribución de los datos en relación a la conductividad eléctrica.

Tabla 17-3: Prueba de homogeneidad de varianzas de la conductividad eléctrica

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
8.219	2	12	0.006

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene indica que se cumple con el supuesto, dado que $p > 0.05$, comprobando que no existe diferencia de varianzas.

Tabla 18-3: ANOVA de un factor de la conductividad eléctrica

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.019	2	0.009	256.912	0.000
Dentro de grupos	0.000	12	0.000		
Total	0.019	14			

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 18-3 se evidencia que existe una diferencia significativa para la reducción de la conductividad eléctrica en el tratamiento de aguas residuales al pasar estas por los biofiltros, por ello se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Ho: Con la implementación de tres filtros no existe diferencia significativa en la conductividad eléctrica.

Hi: Con la implementación de tres filtros existe diferencia significativa en la conductividad eléctrica.

Sig < 0.05 rechazamos la Ho

Sig > 0.05 aceptamos Hi

Tabla 19-3: Prueba post hoc de la conductividad eléctrica

(I) FILTRO	(J) FILTRO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
M	A	0.08480*	0.00382	0.000	0.0741	0.0955
	B	0.02680*	0.00382	0.000	0.0161	0.0375
A	M	-0,08480*	0.00382	0.000	-0.0955	-0.0741
	B	-0.05800*	0.00382	0.000	-0.0687	-0.0473
B	M	-0.02680*	0.00382	0.000	-0.0375	-0.0161
	A	0.05800*	0.00382	0.000	0.0473	0.0687

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 19-3 se observa que existen diferencias significativas entre los filtros, dado que $p < 0.05$.

Tabla 20-3: Subconjuntos homogéneos de la conductividad eléctrica

FILTRO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
A	5	0.2548		
B	5		0.3128	
M	5			0.3396
Sig.		1.000	1.000	1.000

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 20-3 se observan los valores de las medias de cada filtro, siendo el mejor, el filtro A (bambú) puesto que, tiene el número más bajo, lo que indica que tiene la mayor reducción de conductividad eléctrica.

3.2.5. Análisis estadístico del Cr^{+6}

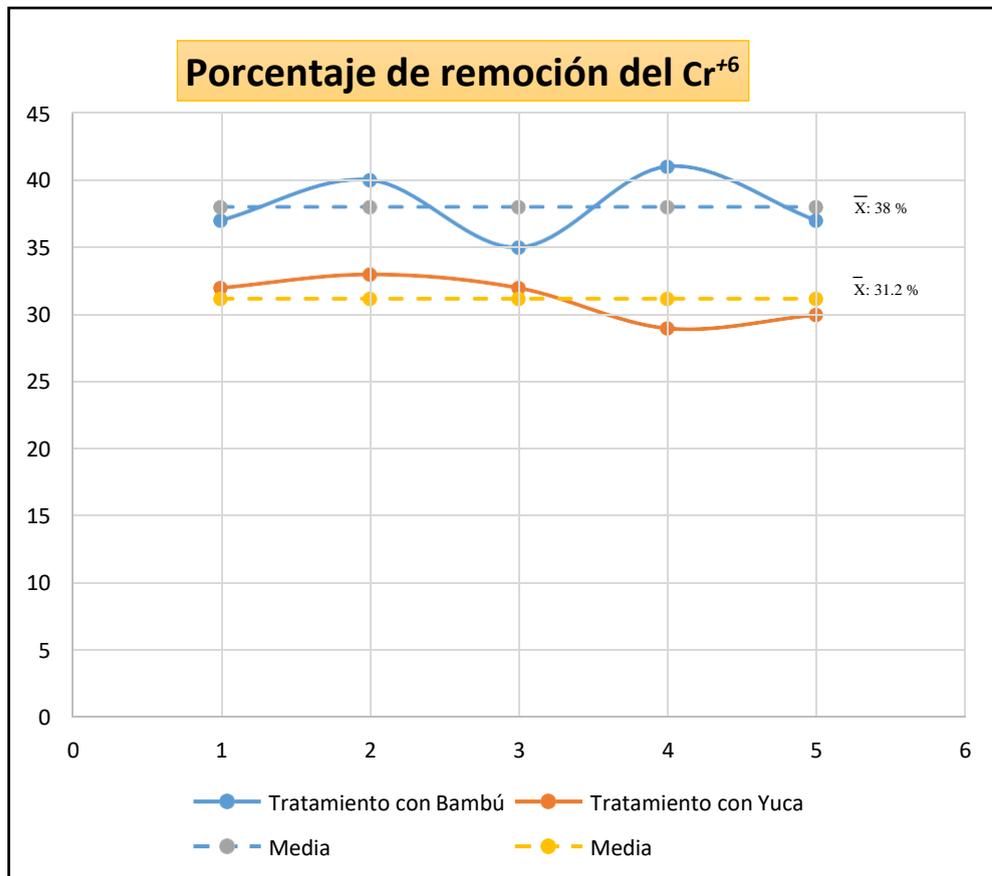


Gráfico 10-3: Porcentaje de remoción del Cr^{+6}

Realizado por: Pavón, Z.2021.

El gráfico 10-3 muestra que la concentración de Cr^{+6} en las aguas provenientes de la industria minera fue de 0.52 mg/l, al pasar por los biofiltros A y B, se redujo su concentración en 0.14 mg/l y 0.20 mg/l respectivamente. La reducción Cr^{+6} en el tratamiento utilizado fue significativa y se evidenció una mejora de la calidad de agua con 38 % y 31.2 % en el bambú y la yuca respectivamente. El estudio estadístico demostró que el biofiltro con bambú tuvo mayor porcentaje de reducción del Cr^{+6} .

El porcentaje de reducción del Cr^{+6} en esta investigación fue del 38 % y 31.2% en el bambú y la yuca, respectivamente. Teniendo un nivel promedio comparado con las investigaciones “Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros” en donde la reducción es del 39 % al pasar por los filtros para longitud de 0.10 metros (Carrillo, 2017; Higuera eta al., 2009, pp. 107-119) y con la investigación “Estudio de retención de metales pesados en aguas sintéticas utilizando como lecho filtrante la fibra de cabuya *Furcraea*

andina como alternativa de biorremediación”, cuyo porcentaje de remoción fue del 30% a 35 % (Carrillo, et al., 2017, pp. 66-67), al tener un tratamiento similar y al verificar su efectividad.

Tabla 21-3: Prueba de normalidad del Cr⁺⁶

FILTRO	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
M	0.885	5	0.334
A	0.925	5	0.563
B	0.914	5	0.490

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 21-3 se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, misma que muestra que existe una distribución normal de los datos y que se acepta la hipótesis nula.

Ho: Existe normalidad entres los datos > 0.05

Hi: No existe normalidad entre los datos < 0.05

Tabla 22-3: Prueba de homogeneidad de varianzas del Cr⁺⁶

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1.143	2	12	0.351

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 22-3 La prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, indica que se cumple con el supuesto, dado que $p > 0.05$ comprobando que no existe diferencia de varianzas.

Tabla 23-3: ANOVA de un factor del Cr⁺⁶

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.340	2	0.170	238.467	0.000
Dentro de grupos	0.009	12	0.001		
Total	0.349	14			

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 23-3 se evidencia que existe una diferencia significativa para la reducción del Cr⁺⁶ en el tratamiento de aguas residuales al pasar el agua por los biofiltros, por ello se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. El bambú y la yuca como biofiltros permiten la remoción de Cr⁺⁶ de las aguas residuales de la industria minera.

Ho: Con la implementación de tres filtros no existe diferencia significativa de reducción de Cr⁺⁶.

Hi: Con la implementación de tres filtros existe una diferencia significativa de reducción de Cr⁺⁶.

Sig < 0.05 rechazamos la Ho

Sig > 0.05 aceptamos Hi

Tabla 24-3: Prueba post hoc del Cr⁺⁶

(I) FILTRO	(J) FILTRO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
M	A	0.34800*	0.01689	0.000	0.3009	0.3951
	B	0.28000*	0.01689	0.000	0.2329	0.3271
A	M	-0.34800*	0.01689	0.000	-0.3951	-0.3009
	B	-0.06800*	0.01689	0,006	-0.1151	-0.0209
B	M	-0.28000*	0.01689	0.000	-0.3271	-0.2329
	A	0.06800*	0.01689	0.006	0.0209	0.1151

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 24-3, después de realizar el análisis estadístico de la prueba post hoc de Tukey, se evidencia que existen diferencias significativas entre los filtros A y B puesto que el valor de p es menor a 0.05 ($p < 0.05$).

Tabla 25-3: Subconjuntos homogéneos del Cr⁺⁶

FILTRO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
A	5	0.1400		
B	5		0.2080	
M	5			0.4880
Sig.		1.000	1.000	1.000

Realizado por: Pavón Jaramillo, Zorayda, 2021.

En la tabla 25-3, se observan los valores de las medias de cada filtro, siendo el mejor, el filtro A (bambú) ya que tiene el número más bajo, lo cual indica que tiene la mayor reducción del Cr⁺⁶.

CONCLUSIONES

- Se determinó el porcentaje de reducción de Cr^{+6} en muestras de agua provenientes de la industria minera, el cual fue del 38 % utilizando el bambú y del 31.2 % utilizando la yuca como biofiltros.
- Se elaboraron dos biofiltros con fibras de bambú y yuca, además de contener entre sus componentes carbón activado, arena y piedra. El diseño del biofiltro tuvo como zona de recepción del agua un recipiente de material plástico de forma cilíndrica (Higuera, et al., 2008. p. 27), con un volumen de seis litros sostenido sobre una estructura metálica de 1.80 metros. El recipiente de captación se conectó a una llave de paso y a un tubo de descarga; mientras que las fibras del biofiltro se ubicaron en la parte central y en la parte inferior un recipiente para la recepción del agua tratada.
- Se comprobó de manera experimental a través del análisis de laboratorio los siguientes cambios en las muestras de agua provenientes de la minería Panantza San Carlos y tratadas por biofiltros: reducción de Cr^{+6} en un 38% para el biofiltro de bambú y 31.2% para el biofiltro de yuca, reducción de la turbidez en un 19.2% con el bambú y 13% con la yuca, reducción de sólidos suspendidos en un 3.6% al utilizar bambú y 2.5% al utilizar yuca, cambio en el pH del 5.9% con bambú y 1.2% con yuca y finalmente la reducción de la conductividad eléctrica en un 9.2% con biofiltro de bambú y 3.4% con un biofiltro de yuca.
- Se determinó mediante un análisis estadístico que la filtración de aguas residuales con fibras de bambú es más eficiente, al existir una diferenciación en el ANOVA y las medias de los tratamientos de la turbidez, sólidos suspendidos, pH y conductividad eléctrica, así como un mayor porcentaje de reducción del Cr^{+6} .

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la investigación de nuevas metodologías con la reutilización de material orgánico (yuca, bambú, entre otras.) y sostenible para elaborar lechos filtrantes que sirvan como biofiltros de reducción de toxicidad de metales pesados como es el Cr⁺⁶.
- Realizar pruebas con un tratamiento mixto entre el bambú y la yuca, para verificar su eficiencia.
- Realizar un estudio comparativo utilizando otras fibras naturales propias de la zona como el árbol guayusa que pudieran tener el mismo o mejor efecto en la filtración de aguas residuales.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA ARGUELLO, Henry; et al. “Adsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) como biosorbente: Estudio cinético” [en línea], 2017, (Colombia) 35(1), pp. 58-76. [Consulta: 20 diciembre 2020]. ISSN: 2145-9371. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n1/2145-9371-inde-35-01-00058.pdf>

ACOSTA, I.; et al. “Bioadsorción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa Celular de *Cryptococcus neoformans* y *Helminthosporium* sp”. *Información tecnológica* [en línea], 2005, (Chile) 16(1), pp. 11-15. DOI 10.4067/S0718-07642005000100003. [Consulta: 20 diciembre 2020]. ISSN 0718-0764. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642005000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

ACREDITACIÓN Y GESTIÓN AMBIENTAL EN AMÉRICA CENTRAL. *Muestra compuesta* [en línea]. 2000. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: http://www.cegesti.org/agace/presentaciones/08_manual_aguas_muestreo_de_aguas.pdf

AMAT, Joaquín. *Test Kruskal-Wallis.* [en línea]. 2016. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: https://www.cienciadedatos.net/documentos/20_kruskal-wallis_test

CABRERA ANDRADE, Luis Fernando. Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol (*Solanum Betaceum*) [En línea] (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador. 2017, p. 172. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14460/1/UPS-CT007124.pdf>

ASAMBLEA CONSTITUYENTE. *Constitución De La República Del Ecuador.* [en línea]. 2008. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>

BAUTISTA HERNÁNDEZ, Dorian Antonio. Bioadsorción de metales pesados mediante el uso de biomasa bacteriana aislada de jales mineros. [en línea] (Trabajo de titulación) (Grado). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Estado De México, México. 2008, pp. 62-83. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/569087/DocsTec_6999.pdf?seque

BELTRÁN, Mayra & GÓMEZ, Alida. “Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión”. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* [en línea], 25 julio 2016. 12(2), pp. 172-197. DOI 10.18359/rfcb.2027. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2027>

BION BIOCONSERVACIÓN. *Biofiltros vs Adsorción Bioconservación.* [en línea]. 2015. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.bioconservacion.com/es/noticias/biofiltros-vs-adsorcion.html>

CARRILLO BARAHONA, William Estuardo. Determinar la reducción de concentración de Cr+6 en muestras de agua de la Curtiembre El Nuevo Mundo en la ciudad de Ambato utilizando la cabuya como biofiltro a diferentes longitudes. [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2017. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7858>

CAVIEDES, Diego; et al. “Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales”. *Ingeniería y Región* [en línea], 2015, 13(1). pp. 73-90. [Consulta: 21 diciembre 2020]. ISSN 1657-6985. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432290>

CORTÉS VELÁZQUEZ, Jennifer. Propuesta de un sistema de biofiltración de cromo hexavalente en agua, utilizando olote de maíz [en línea] (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Autónoma del Estado de México, México. 2015 pp. 98-101. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/55531698.pdf>

DÁVILA MARTÍNEZ, Tatiana; et al. “Evaluación de residuos agroindustriales como biofiltros: remoción de Cr (VI) en efluentes de curtiembres sintéticos”. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial.* [en línea], 2014. 1(1), pp. 49-58. [Consulta: 21 diciembre 2020]. ISSN 1909-9959. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v15nspe/v15nspea06.pdf>

DELGADO SARMIENTO, Pavel; et al. “Biorremediación de Cromo VI mediante el uso de *Rhodopseudomonas Palustris* en efluentes industriales provenientes de curtiembres”. *Revista Boliviana de Química.* [en línea], 2020. 37(1), pp. 21-27. [Consulta: 21 diciembre 2020]. ISSN 0250-5460. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0250-54602020000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

ESPARZA ENCALADA, William Ricardo. Análisis del proceso para la obtención de fibra textil regenerada a partir del bambú [en línea] (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería Textil. Ecuador. pp. 5-4. 2018. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8567/1/04%20IT%20237%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

FRANCO CABRERA, María & SCALDAFERRO RUIZ, Karols Del Carmen. Determinación de plaguicidas y metales pesados en sedimentos superficiales del embalse el Guájaro como consecuencia de la actividad agrícola en el Distrito de Riego Repelón, Atlántico. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Corporación Universidad de la Costa, CUC Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Ambiental. Barranquilla, Colombia. 2017. pp. 56-185. [Consultado: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/309/1048217934-1140871936.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

GARZÓN ZUÑIGA, Marco; et al. “La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias”. *Instituto Mexicano de Tecnología y Ciencias del Agua*. [en línea]. México. 2012. 3(3), pp. 153-161. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n3/v3n3a11.pdf>

GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN MORONA y KANTZAM CIA. LTDA. *Estudio de impacto ambiental del proyecto construcción de interceptores y unidades de tratamiento del sistema de alcantarillado de la Ciudad de Macas, Cantón Morona, Provincia de Morona Santiago–II Fase Plan Maestro* [en línea] Macas, Ecuador. 2012. Morona Santiago. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/Proyectos/PTRATAMIENTO/Estudio%20de%20impacto%20ambiental%20-%20incluye%20plan%20de%20manejo.pdf>

GUASTAY GUINGLA, Lida & TINICO CHICA, Emilio. Evaluación de la bio reducción del cromo hexavalente (VI) en aguas de estero salado con filtros de zuro de maíz (*Zea Mays*) y cascarilla de arroz (*Oryza Sativa*) [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Químicas, Carrera Química y Farmacia. Guayaquil, Ecuador. 2020, pp. 76-99. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/43621/1/BCIEQ-T-0421%20Guastay%20Guingla%](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/43621/1/BCIEQ-T-0421%20Guastay%20Guingla%20)

20Lida% 20Ivon% 3B% 20Tinoco% 20Chica% 20Emilio% 20Alexander.pdf

HERRERA VELAZQUES, Wilmer & REY CALDERON, Anyi Zuleima. Implementación de Biofiltro como Agente Depurador de Aguas Residuales del Conjunto Aranjuez, en el Municipio de Villavicencio [en línea], (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Cooperativa de Colombia. Colombia. 2018. pp. 51-86. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4174/1/2018_implementacion_biofiltro_agente.pdf

HIGUERA, Oscar; et al. “Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros”. *Revista Scielo* [en línea], 2008, (Medellín-Colombia) 96(160), pp. 107-119. [Consulta: 21 diciembre 2020]. ISSN 0012-7353. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n160/a10v76n160.pdf>

LEAFLET, OCMAL, OSM HUMANITARIAN. *Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina, OCMAL.* Proyecto Panantza-San, Carlos Morona Santiago, Ecuador (PSC) [en línea]. 2000. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: https://mapa.conflictosmineros.net/ocmal_db-v2/proyecto/view/363

MARTÍNEZ JIMÉNEZ, Delsy; et al. “Remoción de Cr +6 usando partículas a base de hoja de bambú”. *Revista Latinoamericana de Ambiente y Ciencias.* [en línea], 2018. 21(9) pp. 595-607. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: [http://emas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/86/2/9\(21\)-41.pdf](http://emas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/rlac/resources/LocalContent/86/2/9(21)-41.pdf)

MONTOYA, Carolina; et al. “Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización”. *Revista EIA.* [en línea], 2011. 1(16) pp. 137-148. [Consulta: 21 diciembre 2020]. ISSN 1792-1237. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149222630010.pdf>

NORDBERG, Gunnar. *Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad* [en línea]. 2019. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. 63(1). [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%ADmicas+y+toxicidad>

NORMATIVA TÉCNICA ECUATORIANA – NTE INEN 2 169:98. *Agua. Calidad del agua. Muestra manejo y conservación de muestras.* [en línea]. 1998 [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2169.pdf>

NORMATIVA TÉCNICA ECUATORIANA VOLUNTARIA NTE INEN 2 169:98. *Calidad del agua. Muestreo manejo y conservación de muestra.* [en línea]. 2013. [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2169.pdf>

OLIVERA RÍO, Emilio. *Lecho filtrante.* [en línea]. 2018. [Consultado: 4 febrero 2021]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/13579575/>

PAYÁN GÓMEZ, Sergio Arturo. Estudio y diseño de biofiltro a partir de materia orgánica para el tratamiento de agua. [en línea]. Centro De Investigación en Materiales Avanzados S.C. México. 2011. pp. 1-43. [Consulta: 4 febrero 2021]. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/583/1/Tesis%20Sergio%20Arturo%20Pay%C3%A1n%20G%C3%B3mez.pdf>

PÉREZ DE LA CRUZ, Francisco Xavier. Abastecimiento de aguas [en línea]. España: Universidad Politécnica de Cartagena. 2011. [Consulta: 4 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/Tema%2006%20FILTRACI%C3%93N.pdf>

QUINTELA DEL RIO, Alejandro. Estadística Básica Edulcorada. [en línea], (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Politécnica de Cartagena, Ingeniería Civil. 2019. [Consulta: 4 febrero 2021]. Disponible en: <https://bookdown.org/aquintela/EBE/muestreo-aleatorio-simple.html>

RAMÓN MERCEDES, José, *Guía técnica. Cultivo de bambú.* [en línea]. República Dominicana. 2016. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/Yulimar89/bambu-19092615>

REA TOAPANTA, Antonio Ricardo. “Política minera y sostenibilidad ambiental en Ecuador”. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo [en línea], diciembre 2017. 1(2), pp. 41-52. [Consulta: 4 febrero 2021]. ISSN 1390-7042. DOI 10.29166/revfig. v1i2.68. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/68>

REYES, Yulieth; et al. “Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria”. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D*. [en línea], 2016. 16(2), p. 66-77. [Consulta: 4 febrero 2021]. ISSN 2422-4324, ISSN 1900-771X. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>

RODRÍGUEZ, Adriana; et al. “Bioadsorción de cromo (vi) en solución acuosa por la biomasa de amaranto (*Amaranthus caudatus*)”. *Avances en Ciencias e Ingenierías* [en línea], 2017. (Chile) 2(8), pp. 11-20. [Consulta: 4 febrero 2021]. ISSN 0718-8766, Disponible en: redalyc.org/pdf/3236/323652282002.pdf

SEGOVIA SAMPEDRO, Cynthia Pamela. Evaluación de un filtro artesanal de efluentes generados por una lubricadora en la ciudad de Latacunga, a base de piedra volcánica, piedra pómez, carbonato de calcio y algas. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil. Ecuador, 2017, pp. 88-112. [Consulta: 4 febrero 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8397/1/CD-5734.pdf>

D'ANGELO, Silva Beatriz. *Población y muestra* [en línea]. U.N.N.E.; U.C.P. 2004. [Consultado: 4 febrero 2021]. Disponible en: [https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/aps/POBLACI%C3%93N%20Y%20MUESTRA%20\(Lic%20D'Angelo\).pdf](https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/aps/POBLACI%C3%93N%20Y%20MUESTRA%20(Lic%20D'Angelo).pdf)

SOTO, Eliana. et al. “Remoción de cromo hexavalente de aguas residuales con microorganismos adaptados a medios ricos en Cromo *Removal of hexavalent chromium from wastewater using microorganisms adapted to chromium-rich media 50*”. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. [en línea], 2017. (Colombia) 29(1), pp. 49-57. [Consulta: 4 febrero 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/323073781_REMOCION_DE_CROMO_HEXAVALENTE_DE_AGUAS_RESIDUALES_CON_MICROORGANISMOS_ADAPTADOS_A_MEDIOS_RICOS_EN_CROMO_REMOVAL_OF_HEXAVALENT_CHROMIUM_FROM_WASTEWATER_USING_MICROORGANISMS_ADAPTED_TO_CHROMIUM-RICH_MED

TEJADA TOVAR, Candelaria; et al. “Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico”. *Revista en Redalyc* [en línea], 2015. 18(34), pp. 109-123. [Consulta: 4 febrero 2021]. ISSN 0123-7799. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234336010.pdf>

TUSET, Sergio. *Tratamiento de aire: Biofiltros y biolavadores.* Ingeniería ambiental para el sector industrial [blog]. 2012. [Consulta: 19 enero 2021]. Disponible en: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-aire-biofiltros-y-biolavadores/>

VILLÉN PÉREZ, Lorena. *Diseño de un biofiltro* [en línea]. 2010. pp. 56-70. [Consulta: 19 enero 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10427/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

ANEXO A: VISITA A LA INDUSTRIA MINERA PANANTZA-SAN CARLOS



ANEXO B: TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL



ANEXO C: SELECCIÓN Y OBTENCIÓN DE LA FIBRA DEL BAMBÚ Y LA YUCA



ANEXO D: RESULTADOS DE LABORATORIO PARA Cr⁺⁶



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. SAE LEN 17-012

Nº SE: 011-21

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Zorayda Soledad Pavón Jaramillo

INFORME Nº 011- 21

Nº SE: 011-21

EMPRESA: Proyecto de Tesis

DIRECCIÓN: Capitán Francisco Flor y Av. 29 de Mayo

FECHA DE RECEPCIÓN: 29 - 01 -21

TELÉFONO: 0969741893

FECHA DE INFORME: 03 - 02 -21

NÚMERO DE MUESTRAS: 1, Agua residual minería

TIPO DE MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN:

MA - 013-21 Muestra 1

Agua residual

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 013-21

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U/(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0.52	N/A	29 - 01 -21

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 23ª EDICIÓN.

REGLA DE DECISIÓN ACORDADA: No aplica

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

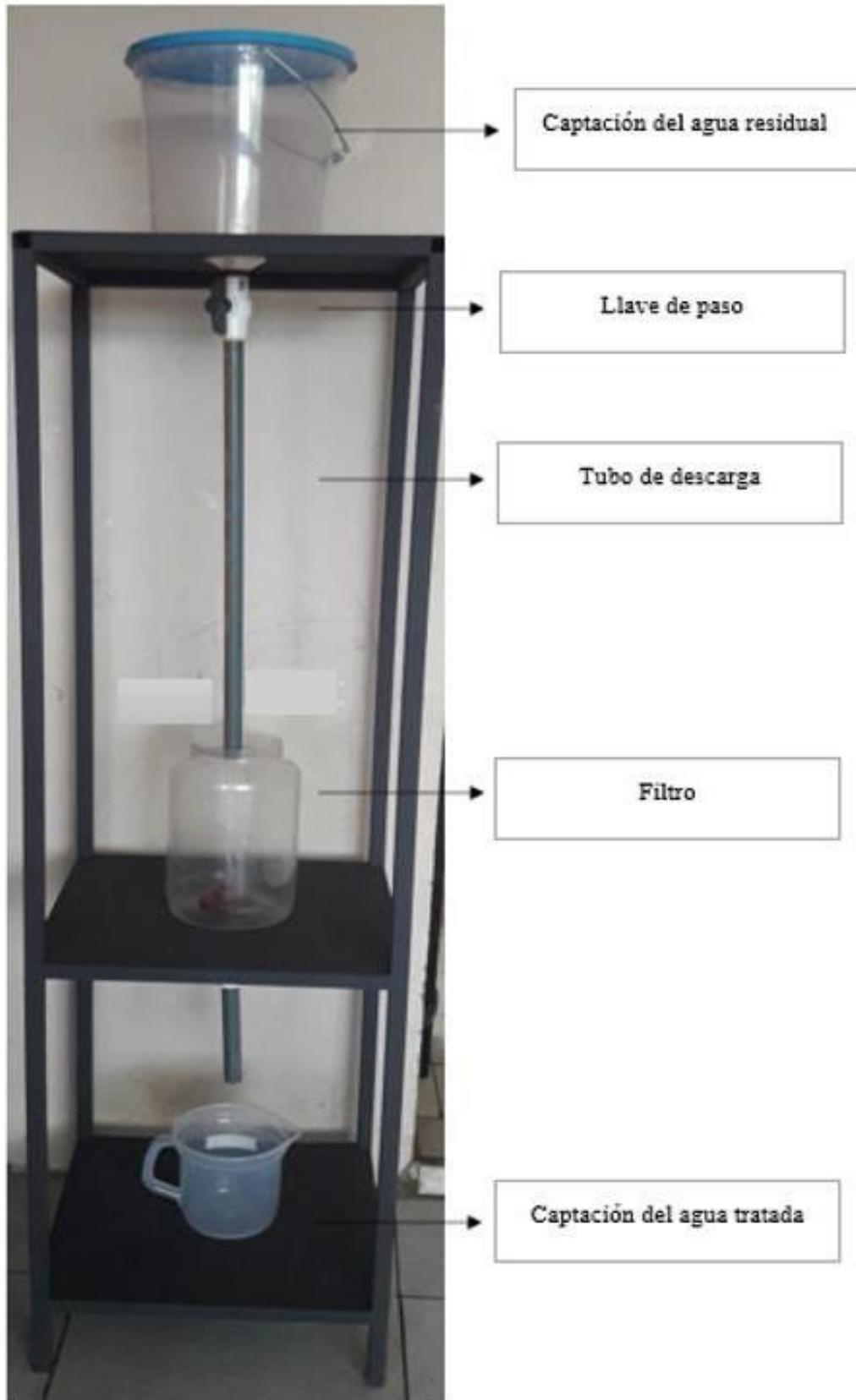
Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.



-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.
-LSA libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados

ANEXO E: CONSTRUCCIÓN DEL BIOFILTRO



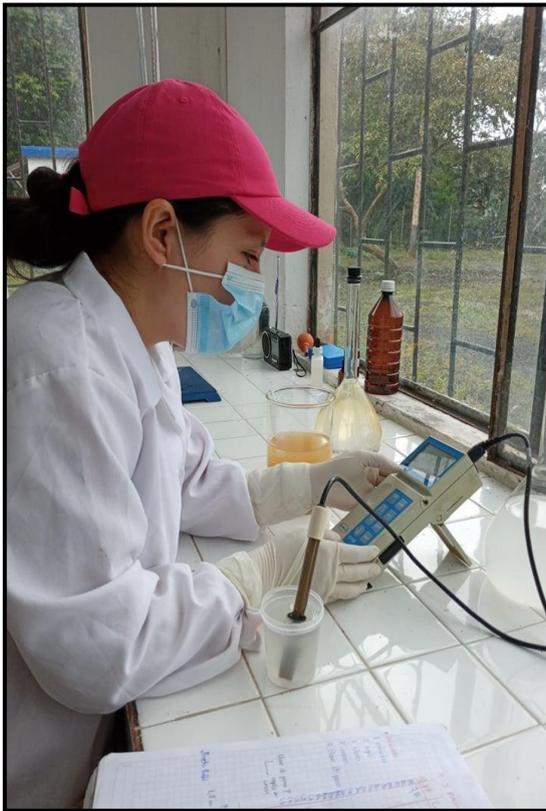
ANEXO F: PREPARACIÓN DEL MEDIO FILTRANTE



ANEXO G: PRUEBA DEL BIOFILTRO EN EL AGUA RESIDUAL



ANEXO H: ANÁLISIS DE LABORATORIO





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

FECHA DE ENTREGA: 11 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

NOMBRES – APELLIDOS: ZORAYDA SOLEDAD PAVÓN JARAMILLO

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

FACULTAD: CIENCIAS

CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO A OPTAR: INGENIERA AMBIENTAL

F. ANALISTA DE BIBLIOTECA RESPONSABLE:

Lcda. INÉS ZAPATA ZUMÁRRAGA Mgtr.

**INES ZAPATA
ZUMARRAGA**

Firmado digitalmente por INES ZAPATA
ZUMARRAGA
DN: cn=INES ZAPATA ZUMARRAGA
gn=INES cn=EC IRIKOSAMBA
ou=Certificado de Clase 2 de Persona
Física EC e=ineszapataz@hotmail.com
Motivo: Aprobado este documento
Ubicación:
Fecha: 2021-10-11 17:26:05:00



1110-DBRAI-UPT-2021