



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO PRESENTE EN LAS AGUAS DEL ESTERO EL MACHO EN LA CIUDAD DE MACHALA UTILIZANDO ESPUMA DE POLIURETANO COMO ADSORBENTE.**

**MAYRA VERÓNICA ESCUDERO VILEMA**

**Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**Abril 2022**

©2022, Mayra Verónica Escudero Vilema

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 del Autor.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICACIÓN:**

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado: **Diseño de un proceso para la remoción de cadmio presente en las aguas del estero el macho en la ciudad de Machala utilizando espuma de poliuretano como adsorbente**, de responsabilidad de la señorita. Mayra Verónica Escudero Vilema, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

DR. JUAN MARIO VARGAS GUAMBO; MAG.

**PRESIDENTE**



Firmado electrónicamente por:  
**JUAN MARIO  
VARGAS GUAMBO**

DR. HUGO ÍTALO ROMERO BONILLA; PH. D.

**DIRECTOR**



Firmado electrónicamente por:  
**HUGO ÍTALO  
ROMERO  
BONILLA**

DR. ROBERT ALCIDES CAZAR RAMIREZ; PH.D.

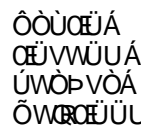
**MIEMBRO**



Firmado electrónicamente por:  
**ROBERT ALCIDES  
CAZAR RAMIREZ**

ING. CÉSAR ARTURO PUENTE GUIJARRO; PH. D.

**MIEMBRO**



Firmado electrónicamente por:  
**CÉSAR ARTURO  
PUENTE GUIJARRO**

## DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Mayra Verónica Escudero Vilema, con cédula de identidad 060426710-4 declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Mayra Verónica Escudero Vilema,  
N° de Cédula 060426710-4

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Mayra Verónica Escudero Vilema, declaro que el presente Proyecto de Investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

---

Mayra Verónica Escudero Vilema,  
N° de Cédula 060426710-4

## **DEDICATORIA**

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado siempre a mi lado.  
A mis padres Cecilia y Néstor quienes, con sus oraciones, consejos, palabras de aliento su amor, paciencia y esfuerzo hicieron de mí una mejor persona; y me enseñaron a no rendirme y cumplir otro de mis sueños proyectados en mi vida profesional.  
Finalmente, a mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

*Mayra Verónica Escudero Vilema.*

## AGRADECIMIENTO

Al concluir esta maravillosa etapa en mi vida, mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto **DIOS**, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez. Es quien guía el destino de mi vida.

A mis padres, hermanos y mi ángel aquí en la tierra quienes han caminado en todo momento y siempre fueron mi inspiración, apoyo y fortaleza. Muchas gracias a ustedes por demostrarme que *“El verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere”*

Mi gratitud a la academia científica líder en la formación, Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, mi agradecimiento sincero al Dr. Hugo Romero, Dr. Robert Cazar y Dr. Cesar Puente quienes con su apoyo constituyeron la base para culminar con éxito el presente trabajo de investigación.

Finalmente, al amor y la paz que desde el cielo me brindan e iluminan en cada paso que doy y aunque no estén presentes físicamente, sé que están a mi lado en todo momento pues son mis seis ángeles que cuida de mí.

*Mayra Verónica Escudero Vilema*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Situación problemática .....	1
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Justificación de la investigación.....	3
1.5 Objetivos de la investigación.....	4
1.5.1 Objetivo general .....	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
1.6 Hipótesis general .....	5
1.7 Hipótesis específicas .....	5
1.8 Identificación de las variables .....	5
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>6</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 BASES TEÓRICAS .....	7
2.2.1 Alteración de la calidad del agua.....	7
2.2.2 Cadmio .....	9
2.2.3 Origen de los contaminantes, con énfasis en los metales .....	11
2.2.4 Tratamientos para eliminación de metales pesados en aguas residuales.....	12
2.2.5 Procesos de adsorción.....	12
2.2.6 Material adsorbente espuma de poliuretano .....	13
2.2.7 Adsorción .....	14
2.2.8 Modelos de isothermas de adsorción.....	14
2.3 MARCO CONCEPTUAL .....	16
2.3.1 Acuoso.....	16
2.3.2 Cadmio .....	17
2.3.3 Adsorción .....	17
2.3.4 Aguas residuales .....	17
2.3.5 Bioacumulación.....	17
2.3.6 Cinética de adsorción .....	17



2.3.7	Concentración.....	18
2.3.8	Dilución.....	18
2.3.9	Espectroscopia de absorción atómica.....	18
2.3.10	Fuentes antropogénicas.....	18
2.3.11	Fuentes naturales.....	18
2.3.12	Metal.....	19
2.3.13	Metales pesados.....	19
2.3.14	Muestra.....	19
2.3.15	Partícula.....	19
2.3.16	Tamaño de la partícula.....	19
2.3.17	pH.....	20
2.3.18	ppm.....	20
2.3.19	Reactor con agitación.....	20
2.3.20	Volumen.....	20
2.4	MARCO LEGAL.....	20
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>24</b>
<b>3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>		<b>24</b>
3.1	Tipo y Diseño de la Investigación.....	25
3.1.1	Tipo de Investigación.....	25
3.1.2	Diseño de la Investigación.....	25
3.2	Métodos de investigación.....	25
3.2.1	Método Deductivo.....	25
3.2.2	Método de Analítico.....	25
3.3	Enfoque de la Investigación.....	25
3.4	Alcance de la Investigación.....	26
3.5	Población de Estudio.....	26
3.5.1	Localización de la investigación.....	26
3.5.2	Unidad de Análisis.....	26
3.6	Selección de la Muestra.....	26
3.7	Tamaño de Muestra.....	26
3.8	Técnicas de Recolección de Datos.....	26
3.8.1	Técnica analítica.....	26
3.8.2	Instrumentos para procesar datos recopilados.....	27
3.9	Tabla del Diseño experimental.....	27

3.10	Hipótesis general .....	28
3.10.1	Identificación de las variables .....	29
3.11	Operacionalización de las variables .....	30
3.12	Matriz de consistencia .....	32
3.13	Muestreo de aguas .....	35
3.13.1	Materiales y equipos para el muestreo .....	35
3.13.2	Criterio para la selección del punto de muestreo.....	35
3.13.3	Ubicación de la zona de estudio .....	35
3.13.4	Aspectos geográficos de la zona de estudio .....	36
3.13.5	Procedimiento para la toma de muestra.....	37
3.13.6	Toma de muestras.....	38
3.13.7	Análisis de campo.....	38
3.14	Activación del material adsorbente con nanopartículas de plata.....	40
3.14.1	Pretratamiento de la espuma de poliuretano.....	40
3.15	Activación de la espuma de poliuretano con nanopartículas de plata .....	42
3.16	Evaluación de la capacidad de adsorción de la espuma de poliuretano para la remoción de cadmio.....	43
3.16.1	Preparación del agua residual sintética.....	43
3.16.2	Ensayos de adsorción .....	44
3.17	Microscopía electrónica de barrido .....	47
3.18	Análisis Estadístico .....	47
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>48</b>
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>		<b>48</b>
4.1	Resultados de los análisis de los puntos de muestreo.....	48
4.2	Microscopia electrónica de barrido de la espuma de poliuretano .....	50
4.3	Resultados de la concentración final de los ensayos de adsorción y la relación con el tamaño de la partícula de la espuma de poliuretano.....	50
4.4	Relación porcentaje de remoción y tiempo de remoción .....	55
4.5	Resultados de la relación tiempo de remoción y capacidad de adsorción.....	59
4.6	Isotermas de adsorción. ....	62
4.6.1	Isoterma de Langmuir.....	62
4.6.2	Isoterma de Freundlich .....	66
4.7	Comprobación de Hipótesis general.....	71
4.7.1	Correlación entre las variables Tamaño de partícula y Concentración final de cadmio	72

4.7.2	Correlación entre las variables tamaño de partícula y porcentaje de remoción.	72
4.7.3	Correlación entre las variables tiempo de remoción de cadmio y concentración final	73
4.7.4	Correlación entre las variables Tiempo de remoción de cadmio y porcentaje de remoción.	74
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>75</b>
<b>5</b>	<b>PROPUESTA DE DISEÑO .....</b>	<b>75</b>
5.1	Diseño de la estructura reactor tubular vertical.....	75
5.2	Cálculos para el diseño del reactor tubular vertical.....	75
5.2.1	Diámetro interno del reactor.....	75
5.2.2	Volumen del reactor (V).....	76
5.2.3	Tiempo de retención .....	76
5.2.4	Gasto del reactor.....	76
5.2.5	Velocidad del fluido .....	76
5.2.6	Número de Reynolds .....	76
5.2.7	Presión hidrostática .....	77
5.2.8	Presión de la mezcla .....	77
5.2.9	Presión de diseño.....	77
5.2.10	Cálculo del espesor mínimo del reactor .....	78
5.3	Características del Adsorbente .....	78
5.4	Datos versión escala del reactor basados en datos experimentales .....	78
5.4.1	Eficiencia en prueba similar para un volumen de 2508376L.....	79
5.4.2	Concentración final .....	79
5.4.3	Tiempo de tratamiento del reactor.....	80
5.5	Cálculo de bomba para prueba industrial .....	80
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>82</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>83</b>
<b>GLOSARIO .....</b>		<b>84</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>90</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2 Estructura física y química de la espuma de poliuretano .....	13
Figura 1-3 Metodología del trabajo de investigación.....	24
Figura 2-3 Criterios para la selección del muestreo .....	35
Figura 3-3 Puntos de muestreo. En amarstán indicadas las ordenadas de los tres puntos de muestreo .....	36
Figura 4-3 Preparación del muestreo.....	38
Figura 5-3 Procedimiento de toma de muestras .....	38
Figura 6-3 Proceso de pretratamiento de la espuma de poliuretano.....	41
Figura 7-3 Esquema de la síntesis matricial .....	42
Figura 8-3 Activación de la espuma de poliuretano con nanopartículas de plata .....	43
Figura 1-4 Microscopia electrónica de barrido de la espuma de poliuretano, (a) Antes del proceso de adsorción, (b) después del proceso de adsorción de cadmio .....	50

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4 Resultados de los análisis de muestreo .....	49
Gráfico 2-4 Concentración de cadmio vs tiempo de remoción en el ensayo 1 .....	51
Gráfico 3-4 Concentración de cadmio vs tiempo de remoción en el ensayo 2 .....	53
Gráfico 4-4 Concentración de cadmio vs tiempo de remoción en el ensayo 3 .....	54
Gráfico 5-4 Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 1 .....	56
Gráfico 6-4 Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 2 .....	57
Gráfico 7-4 Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 3 .....	58
Gráfico 8-4 Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 1 .....	59
Gráfico 9-4 Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 2 .....	60
Gráfico 10-4 Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 3 .....	61
Gráfico 11-4 Isoterma de Langmuir ensayo 1 .....	63
Gráfico 12-4 Isoterma de Lagmuir Ensayo 2 .....	64
Gráfico 13-4 Isoterma de Langmuir Ensayo 3 .....	65
Gráfico 14-4 Isoterma de Freundlich ensayo 1 .....	67
Gráfico 15-4 Isoterma de Freundlich ensayo 2 .....	68
Gráfico 16-4 Isoterma de Freundlich ensayo 3 .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3 Variables y niveles para el desarrollo experimental.....	27
Tabla 2 -3 Matriz de experimentos.....	28
Tabla 3-3 Operacionalización de variables .....	30
Tabla 4-3 Matriz de consistencia.....	32
Tabla 5-3 Materiales y equipos para el muestreo.....	35
Tabla 6-3 Coordenadas del punto de muestreo 1 .....	36
Tabla 7-3 Coordenadas del punto de muestreo 2 .....	37
Tabla 8-3 Coordenadas del punto de muestreo 3 .....	37
Tabla 9-3 Agentes para el pretratamiento de la espuma.....	40
Tabla 10-3 Materiales y equipos para los ensayos de adsorción.....	44
Tabla 11-3 Parámetros de ensayo 1.....	44
Tabla 12-3 Parámetros de ensayo 2.....	45
Tabla 13-3 Parámetros de ensayo 3.....	45
Tabla 1-4 Resultados de parámetros medidos in situ .....	48
Tabla 2-4 Resultados de los análisis en el laboratorio de los puntos de muestreo .....	49
Tabla 3-4 Concentración inicial y final de cadmio en el ensayo 1.....	51
Tabla 4-4 Concentración inicial y final de cadmio en el ensayo 2.....	52
Tabla 5-4 Concentración inicial y final de cadmio en el ensayo 3.....	54
Tabla 6-4 Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 1.....	55
Tabla 7-4 Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 2.....	56
Tabla 8-4 Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 3.....	57
Tabla 9-4 Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 1 .....	59
Tabla 10-4 Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 2.....	60
Tabla 11-4 Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 3.....	61
Tabla 12-4 Valores de $C_e$ y $C_e/q_e$ para ensayo 1.....	63
Tabla 13-4 Valores de $C_e$ y $C_e/q_e$ para ensayo 2.....	64
Tabla 14-4 Valores de $C_e$ y $C_e/q_e$ para ensayo 3.....	65
Tabla 15-4 Valores de $\text{Log}(C_e)$ y $\text{Log}(q_e)$ para ensayo 1 .....	66
Tabla 16-4 Valores de $\text{Log}(C_e)$ y $\text{Log}(q_e)$ para ensayo 2.....	67
Tabla 17-4 Valores de $\text{Log}(C_e)$ y $\text{Log}(q_e)$ para ensayo 3 .....	68
Tabla 18-4 Parámetros cinéticos de la isoterma de adsorción de Langmuir y Freundlich en los 3 ensayos para cadmio .....	69

Tabla 19-4 Prueba de normalidad .....	71
Tabla 20-4 Correlación entre las variables tamaño de partícula y concentración final de cadmio .....	72
Tabla 21-4 Correlación entre las variables tamaño de partícula y porcentaje de remoción.....	73
Tabla 22-4 Correlación entre las variables Tiempo de remoción de cadmio y porcentaje de remoción. .....	73
Tabla 23-4 Correlación entre las variables Tiempo de remoción de cadmio y porcentaje de remoción. .....	74
Tabla 1-5 Características del Adsorbente.....	78
Tabla 2-5 Parámetros de validación para el reactor tubular horizontal .....	81

## RESUMEN

Se realizó el diseño de un proceso para la remoción de cadmio presente en las aguas del Estero El Macho en la ciudad de Machala utilizando espuma de poliuretano como adsorbente. La investigación fue experimental de tipo longitudinal con un enfoque de carácter científico, donde las variables concentración final y porcentaje de remoción fueron medibles o manipulables como sujeto del experimento. Se cuantificó las concentraciones de cadmio mediante absorción atómica en las aguas del estero identificando tres puntos de muestreo. Para la adsorción de cadmio de las aguas contaminadas del estero se trabajó con la espuma de poliuretano modificada con nanopartículas de plata. Los resultados evidenciaron un porcentaje de adsorción de cadmio de 48.75% de la cantidad inicial de iones estudiados (1.6 mg / L). Utilizando 1.56 g de adsorbente de poliuretano modificado con nanopartículas de plata a pH 8, con tamaño de la espuma de poliuretano de poliuretano de forma cubica 0.5 cm de lado. Para el análisis de los datos de adsorción de equilibrio se utilizó los modelos de Langmuir y Freundlich que revelaron que el modelo de Langmuir fue muy adecuado para describir la adsorción de iones cadmio. Y se propuso el diseño de un reactor tubular vertical a escala industrial. Por lo tanto, se concluye que la espuma de poliuretano activada con nanopartículas de plata es efectiva para el tratamiento de aguas contaminadas con cadmio.

**Palabras claves:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <AGUA RESIDUAL>, <ESPUMA DE POLIURETANO >, < CADMIO (Cd)>, <ADSORBENTE>, < NANOPARTÍCULAS>.



## **ABSTRACT**

The design of a process for the removal of cadmium present in the waters of the Estero El Macho in the city of Machala (Ecuador) was executed using polyurethane foam as an adsorbent. Cadmium concentrations were quantified by atomic absorption in the waters of the estuary by using three sampling points. For the adsorption of cadmium from the contaminated waters of the estuary, polyurethane foam modified with silver nanoparticles was used. The results showed a percentage of cadmium adsorption of 48.75% of the initial number of ions studied (1.6 mg / L) using 1.56 g of polyurethane adsorbent modified with silver nanoparticles at pH 8. The polyurethane foam was in a cubic shape of 0.5 cm on each side. For the analysis of equilibrium adsorption data, the Langmuir and Freundlich models were used. The results indicated that polyurethane foam activated with silver nanoparticles was effective for the treatment of water contaminated with cadmium.

**Keywords:** <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <WATER>, <POLYURETHANE FOAM>, <CADMIO (CD) >, <ADSORBENT>, <NANOPARTICLES>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema que afecta a las personas en todo el universo, es un inconveniente que está muy extendido, debido a la falla de los gobiernos en hacer cumplir las regulaciones y acuerdos globales sobre el mantenimiento de la naturaleza. Como resultado, la tierra se está volviendo cada vez más vulnerable debido al aumento de la contaminación del aire, suelo y el agua. Entre el derretimiento masivo de los glaciares, el agotamiento del ozono, las fuertes lluvias que causan inundaciones, sequías y otras consecuencias, muchas enfermedades son el resultado de la contaminación ambiental.

La contaminación del agua afecta la supervivencia de los organismos vivos al consumir líquidos de fuentes contaminadas. Básicamente, existen dos tipos de contaminación del agua, la natural y la antropogénica, siendo esta última un residuo que envenena las especies, descompone las algas y crustáceos y puede causar intoxicación cuando es ingerida por los seres humanos.

La rápida industrialización ha traído grandes beneficios al mejorar la calidad y las condiciones de vida de las personas. Sin embargo, el impacto negativo en este avance es el problema de la contaminación y degradación ambiental provocada por las aguas residuales y los organismos patógenos generados por los asentamientos humanos con una falta de ordenación territorial adecuada. El incremento de la contaminación hace que sea inadecuado el tratamiento de residuos metálicos de las actividades industriales, plaguicidas y fertilizantes agrícolas. Razón por la cual, la contaminación especialmente por metales pesados es una de las más peligrosas para los ecosistemas marinos.

Los metales pesados como Zn, Cd, Fe y Cu son elementos esenciales para las trazas de procesos biológicos. Los problemas surgen cuando se liberan al aire, suelo y aguas en altas concentraciones debido al procesamiento natural de la actividad humana en la que se encuentran.

### 1.1 Planteamiento del problema

### 1.2 Situación problemática

La zona costera presenta una gran vulnerabilidad a los cambios, tanto naturales como antrópicos, que pueden no corresponderse con la estructura, funcionamiento y evolución de este. Aproximadamente el 65% de las ciudades del mundo están localizadas en la zona costera, por lo que aparte de factores

naturales extremos y esporádicos, la urbanización y todos los problemas que ella acarrea son el principal impacto que deteriora la zona costera (Sánchez et al., 2015).

En la actualidad el desarrollo tecnológico, el consumo masivo e indiscriminado y la producción de desechos principalmente urbanos, industriales y mineros, ha provocado la presencia de cadmio en cantidades importantes en el ambiente acuático, provocando numerosos efectos sobre la salud y el equilibrio de los ecosistemas (Chuquimarca, 2015).

El uso comercial importante del cadmio fue como cubierta electrodepositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión. La segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento. La ingesta por los humanos de cadmio tiene lugar a través de la comida. El cadmio es transportado hacia el hígado por la sangre, es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones donde causa un daño en el mecanismo de filtración (Belaire, 2014).

Más de 25.000 toneladas de cadmio son liberadas al ambiente al año, la mitad de este es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y otro porcentaje es liberado al aire a través de incendios forestales y erupciones volcánicas. El resto del cadmio es liberado por las actividades humanas, como la manufacturación. Las aguas residuales con cadmio procedentes de las industrias terminan contaminando los suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son la producción de Zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles (LENNTECH, 2021).

Otra fuente importante de emisión de cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en los cultivos y el resto del cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante son vertidos.

En ecosistemas acuáticos el cadmio puede bioacumularse en mejillones, ostras, gambas, langostas y peces. Las susceptibilidades al cadmio pueden variar ampliamente entre organismos acuáticos. Los organismos de agua salada se sabe que son más resistentes al envenenamiento por cadmio que organismos de agua dulce. Los animales que comen o beben cadmio algunas veces tienen la presión sanguínea alta, daños del hígado y daños en nervios y el cerebro (LENNTECH, 2021).

El crecimiento poblacional desorganizado de la ciudad de Machala ha causado un impacto significativo al ambiente. La generación de desechos, descargas sin previo tratamiento de aguas servidas y uso de fertilizantes y pesticidas de la producción bananera y camaronera han provocado un incremento de

contaminantes entre ellos los metales pesados. Su alta toxicidad, persistencia y fácil acumulación hacen de estos un peligro para los ecosistemas marinos y las especies que habitan en ellos (Ramirez, 2017).

Un estudio que se realizó en 2017 evaluó la concentración de cadmio en el estero El Macho, el cual, detectó que la concentración de este metal en el agua fue de 0.50 ppm siendo superior al límite de los Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA. Por consiguiente, se propone ejecutar un estudio temporal y espacial en el estero de la provincia El Oro, en el cual se identificará la cantidad de remoción de cadmio a través de espuma de poliuretano como adsorbente de efluentes producidos por la contaminación de las actividades mineras, agroquímicos, camaroneras y por los desechos sólidos que van directamente a las aguas de los ríos y esteros afectando su biota.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Es factible la remoción de cadmio de las aguas del estero “El Macho” utilizando espuma de poliuretano como adsorbente?

### **1.4 Justificación de la investigación**

La contaminación del agua es un problema ambiental importante, el desarrollo tecnológico e industrial, cada vez tiene mayor uso de este recurso en los procesos de producción, una gran parte durante este proceso es evacuado como aguas residuales con contenido de metales pesados y otras sustancias tóxicas, una buena cantidad de volumen del recurso agua es dispuesta a fuentes receptoras naturales sin el debido tratamiento, provocando de esta manera efectos nocivos al ambiente y a la salud pública.

La organización mundial de la salud (OMS) anunció que un promedio de 50.000 personas muere cada día por enfermedades asociadas con el agua contaminada, es decir, una persona aproximadamente cada dos segundos (Shamsi, y otros, 2017).

La contaminación del Estero El macho debido a la actividad bananera, minera, camaronera es una problemática ambiental, ya que, las descargas de aguas residuales con cadmio provenientes de los efluentes aledaños a este estero que perjudican a las plantas, animales, recurso agua y salud de las personas.

Actualmente existen investigaciones sobre un adsorbente económico a partir de espuma de poliuretano con alta polaridad superficial y capacidad de sorción, obteniendo resultados que se clasifica como un adsorbente eficaz para la extracción de iones cadmio (II) de aguas contaminadas. En un estudio

realizado en 2017 a muestras reales de agua contaminada, la tasa de eliminación de iones Cd (II) fue en un 95,42%, en un tiempo promedio de 10 h, en un rango de pH de 5 a 6, con adsorción en espuma de poliuretano (Shamsi, y otros, 2017).

En nuestro país no existe investigaciones de este tipo por consiguiente se presenta el siguiente trabajo de investigación que busca mitigar la contaminación por el metal pesado cadmio Cd (II) en aguas residuales procedentes del sector industrial de la provincia del Oro, lo cual genera conflictos ambientales, para tal inconveniente se propone diseñar un proceso para la remoción de cadmio presente en las aguas del estero El Macho en la ciudad de Machala utilizando espuma de poliuretano como adsorbente, que permita cumplir los Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario de la Normativa DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA.

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### **1.5.1 Objetivo general**

Diseñar un proceso para la remoción de cadmio presente en las aguas del estero El Macho en la ciudad de Machala utilizando espuma de poliuretano como adsorbente.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

1. Cuantificar las concentraciones iniciales de cadmio mediante absorción atómica en las aguas del estero El Macho
2. Identificar las variables de diseño que permitan la remoción de cadmio de las aguas del estero El Macho utilizando un reactor de agitación.
3. Realizar una propuesta de diseño de reactor para la remoción de cadmio en las aguas del estero El Macho.
4. Validar la propuesta de diseño del reactor a través de los siguientes parámetros: tiempo de retención hidráulica, longitud de la zona de adsorción, capacidad de carga máxima y parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto, pH, turbidez, conductividad) del agua del estero El Macho, que cumpla con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida

acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA.

### **1.6 Hipótesis general**

La espuma de poliuretano como adsorbente reducirá, las concentraciones de cadmio presentes en el agua del estero El Macho.

### **1.7 Hipótesis específicas**

- a) Las concentraciones de cadmio identificadas de forma inicial en las aguas del estero “El Macho” dependerá su remoción usando espuma de poliuretano como adsorbente.
- b) Las variables de diseño permitirán la remoción de cadmio de las aguas del estero “El Macho” en un reactor con agitación.
- c) El tipo y tamaño del reactor en la propuesta de diseño dependerá del porcentaje de remoción de cadmio por la espuma de poliuretano y las características del agua tratada.
- d) Se validará la propuesta de diseño de reactor a través de parámetros de diseño.

### **1.8 Identificación de las variables**

#### **Variable independiente**

Tamaño de partícula de la espuma de poliuretano.

Tiempo de remoción de cadmio.

#### **Variable dependiente**

Concentración final de cadmio

Porcentaje de remoción de cadmio.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

El 70% de las ciudades del Ecuador no tienen un manejo adecuado de los residuos sólidos, es por ello que, la población arroja la basura en los diferentes recursos hídricos, siendo conocido que los cauces de agua por debajo de los 2000 metros sobre el nivel del mar están contaminados por varias razones como son el uso de las sustancias químicas en actividades agrícolas, la mala gestión del agua en las industrias y la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales dentro de las ciudades (Andrade, y otros, 2018).

La Organización Mundial de la Salud, instituyó que la máxima concentración de iones de metales pesados en el agua debe estar en un rango de 0,001-1 ppm, pese a ello, se reportan concentraciones de iones de metales pesados hasta de 450 ppm en los efluentes, encontrándose dentro de los principales sectores industriales, que son fuentes de contaminación de metales pesados: la minería, industria del cemento, colorantes, curtiduría, galvanoplastia, producción de acero, material fotográfico, pinturas corrosivas, producción de energía, fabricación de textiles, conservación de la madera, refrigeración por agua etc. (Tejada, 2015).

Las zonas costeras son de tremenda importancia para la vida en la tierra. Sin embargo, tienen ecosistemas frágiles y son susceptibles a la contaminación tal como la descarga incontrolada de aguas residuales, siendo los esteros uno de los principales cuerpos de agua que son afectados de manera inmediata por estas aguas (Zhindón, 2018).

El estero El Macho se construyó con la finalidad de captar agua del río Jubones para riego de las zonas bananeras y cacaoteras. En la década de los 60, la ciudad de Machala experimentó un crecimiento demográfico acelerado por el ingreso de personas provenientes de diversos lugares del Ecuador, atraídas por las ofertas de empleo brindadas por la producción de banano y camarón, productos de exportación que se encontraban en auge en dicha época (Andrade, y otros, 2018).

La creciente demanda que se produjo en el sector de la vivienda se encontró en contraste con la escasez de territorios habitables debido a los nulos estudios de planificación territorial, convirtiendo a las invasiones en el modelo común de crecimiento desorganizado de la ciudad que utilizan el estero para la eliminación de desechos y aguas negras, modificando su estado natural (Andrade, y otros, 2018).

A pesar de las distintas investigaciones realizadas en el estero El Macho no se cuenta con un estudio que cuantifique a detalle la contaminación por metales pesados. Sin embargo, en el país existen estudios respecto al contenido de metales pesados en agua, sedimentos y organismos que concluyen que las concentraciones de metales pesados como el cadmio y son superiores a los límites establecidos en la normativa del TULSMA (Ramirez, 2017).

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Alteración de la calidad del agua**

#### **2.2.1.1 Aguas Contaminadas.**

Se entiende como la adición de algún material en el agua alterando su calidad y su composición química. Según la Organización Mundial de la Salud el agua está contaminada “cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso, al que se le hubiera destinado en su estado natural” (Córdova, y otros, 2018)

La contaminación se define en el artículo 85 de la Ley de Aguas (LA) como “*la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica*”.

Diversas actividades que utilizan agua afectan su ciclo hidrológico o modifican las características de las cuencas hidrográficas, provocan alteración de la calidad del agua. En Ecuador, la contaminación proviene principalmente de la descarga de aguas residuales de la mayoría de las ciudades, actividad minera artesanal, actividades hidrocarburíferas y agricultura (Ministerio del Ambiente, 2016).



### **3.2.1.2 Aguas residuales**

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original (M, 2011).

Las aguas residuales son una fuente de contaminación porque no se limpian ni se tratan después de su uso. Según SENAGUA, ambas disparidades, representadas por el saneamiento deficiente a nivel nacional, alcanzan el 64,51%, pero según el análisis de indicadores a nivel de grupo, las áreas rurales representan solo el 53,07% de las instalaciones de saneamiento. Este problema tiene un mayor impacto en la degradación de la calidad del agua cuando hay muy pocas ciudades que tratarán sus aguas residuales, y es más probable que el resto drene directamente a las vías fluviales naturales (Ministerio del Ambiente, 2016)

### **3.2.1.3 Contaminación del agua**

La contribución de metales pesados al ciclo hidrológico se originan como consecuencia de las actividades naturales o antropogénicas que provocan impactos negativos para el hombre y la biota, al ingresar diferentes tipos de sustancias que obstruyen en sus condiciones naturales de calidad, provocando graves riesgos para la salud y el bienestar de la población, la mayor concentración es de origen antropogénico, debido a procesos industriales, residuos domésticos, actividades agrícolas y mineras, ya que son fuentes importantes de contaminación debido a que aportan metales al aire, al agua y al suelo (Vaca, 2018).

La contaminación del agua es uno de los mayores impactos en el desarrollo sostenible y exceder los límites máximos permisibles de las regulaciones de calidad del agua tiene un impacto ambiental en el saneamiento y la higiene, la nutrición de la población y la calidad del agua resultante (Ministerio del Ambiente, 2016).

### **3.2.1.4 Contaminación del agua por metales pesados**

Es uno de los problemas ambientales más severos, además de ser muy difícil de resolver. Las fuentes más habituales de contaminación por metales son: los procesos de petróleo, las plantas generadoras de energía y los procesos metalúrgicos (Moctezuma, 2007)

Siendo el cadmio un metal pesado que alcanza el medio ambiente entre otras razones por acción antrópica, ya que es utilizado en galvanoplastia, como protector contra la corrosión, estabilizador de

plásticos, etc. Su eliminación del medio ambiente es prioritaria debido a su elevada toxicidad, es carcinogénico, embriotóxico, teratogénico y mutagénico, puede causar hiperglicemia, reducir el sistema inmunológico y anemia, debido a que interfiere con el metabolismo del hierro (Moctezuma, 2007).

### **3.2.1.5 Biomateriales: Biomásas inertes y vivas**

Los biosorbentes son materiales provenientes de la flora microbiana, algas, plantas, biomásas residuales, productos agroindustriales o algunos biopolímeros, estos deben ser capaces de adsorber directamente el metal de forma iónica de la solución. Los biomateriales son sometidos a tratamientos fisicoquímicos sencillos y de bajo costo; con el fin de mejorar su capacidad de adsorción en los procesos de aplicación como remoción de metales pesados o recuperación de especies metálicas en solución. (Tejada Tovar, y otros, 2014)

La propiedad que presenta el biosorbente está ligada a la cantidad de sorbato que pueden atraer y retener y la realización de nuevos materiales de bajo costo que eliminan de manera más efectiva los iones metálicos presentes en las aguas residuales razón por la cual, se han evaluado diversos estudios viendo la eficiencia de muchas biomásas (Vigo, 2020).

Se han revisado varios estudios y hay varios registros de que la biomasa es la principal materia prima utilizada para la remoción de metales pesados. Cabe señalar que estas pruebas se realizan en todos los medios acuáticos. Para evaluar el potencial de adsorción de metales pesados, se han estudiado varios biosorbentes orgánicos e inorgánicos y se están realizando muchos estudios (Vigo, 2020).

## **2.2.2 Cadmio**

Es raro en la naturaleza se asocia al zinc, es blanco ligeramente azulado. Peso atómico 112 y densidad relativa 8. Tiene ocho isótopos estables y presenta once radioisótopos inestables de tipo artificial. No se encuentra en estado libre y la greenockita (sulfuro de cadmio) es el único mineral de cadmio. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinado de los minerales de zinc. El cadmio se usa en pinturas, plásticos, pilas, baterías, abonos, soldaduras, asbestos, pigmentos, barras, farmacéutica, fotografía, vidrio, porcelana, etc. (Londoño, y otros, 2016).

El cadmio es un metal pesado presente en la naturaleza que es absorbido por el agua y suelo, y acumulado por los animales y vegetales transmitiéndose al ser humano a través del consumo de pescado y marisco, carne y vegetales con altas concentraciones de cadmio (Ficha de Cadmio, 2014).

### 2.2.2.1 Usos del cadmio

- a) Es un metal muy resistente a la corrosión y se utiliza para la electrodeposición de otros metales, como el hierro y el acero. Varias piezas que forman los aviones u otros vehículos de motor son protegidos con cadmio para evitar la corrosión.
- b) Se usa como estabilizador térmico de plásticos y en ciertas aleaciones de cobre, aluminio y plata, para evitar la degradación de estos materiales por las altas temperaturas.
- c) El Cd puede estar presente en forma de sal en el cloruro o el sulfuro de cadmio; una de las más importantes es el estearato de cadmio que se utiliza como estabilizador térmico en los plásticos de PVC.
- d) También el sulfuro de cadmio se utiliza como pigmento en pinturas, esmaltes, plásticos, textiles, vidrios, tintas de impresión, caucho, lacas, células solares y fotográficas.
- e) Otra de las aplicaciones, que explica la presencia de cadmio en los cigarrillos de consumo poblacional, es el empleo de la sal del cloruro de cadmio como fungicida sobre las plantas de tabaco (Ortiz, 2017)

### 2.2.2.2 Efectos de la exposición al cadmio

El cadmio tiene efectos tóxicos en los riñones y en los sistemas óseo y respiratorio; también, está clasificado como carcinógeno para los seres humanos, la exposición humana se da en mayor medida a través del consumo de alimentos contaminados, la inhalación activa y pasiva del humo del tabaco, y la inhalación en el caso de los trabajadores de la industria de metales no ferrosos (Organización Mundial de la Salud, 2021).

La exposición a niveles mínimos se asocia a cáncer pulmonar y prostático, insuficiencia renal y enfermedades cardiovasculares, alteraciones del metabolismo de la vitamina C y trastornos gastrointestinales agudos (Olivares, y otros, 2008).

### 2.2.2.3 Efectos del cadmio sobre el medio ambiente

El cadmio (Cd) es un metal pesado presente en la atmósfera cuyas fuentes provienen del medio natural, de la industria y de la agricultura. La mayor parte del Cd que se libera al medio ambiente procede de sus numerosas aplicaciones industriales en la metalurgia, quema de combustibles fósiles, incineración de residuos orgánicos, estabilizante de plásticos, fabricación de pigmentos, plaguicidas y fertilizantes, etc. y agrícolas por uso de fertilizantes fosfatados (Ficha de Cadmio, 2014).

Consecuentemente, dicho metal pesado se deposita en grandes cantidades en la superficie terrestre y acuática contaminando los cultivos, y acumulándose en los animales terrestres que se alimentan de pasto, y en los organismos marinos que ingieren plancton con cadmio. Por tanto, en el último eslabón

de la cadena trófica, las personas se exponen cuando se alimentan de los vegetales y carnes que contienen cadmio (Ficha de Cadmio, 2014).

#### *2.2.2.4 Límites de concentración de cadmio en cuerpos de agua.*

Los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA, de cadmio es 0,001 mg/l. (Ministerio Del Ambiente, 2017).

### **2.2.3 Origen de los contaminantes, con énfasis en los metales**

En las últimas décadas, la producción de bienes y servicios ha aumentado exponencialmente, lo que puede mejorar el nivel de vida de la humanidad. Sin embargo, esta práctica ha tenido consecuencias imprevisibles para el medio ambiente. Como resultado, la sociedad moderna se enfrenta a cantidades crecientes de desechos, aguas residuales y desechos. Estos desechos provienen principalmente de la vida urbana, la industria, la minería y la producción agrícola (Amézquita, 2018).

La vida urbana está contaminada principalmente por los residuos municipales y el uso de vehículos con motor térmico en la industria. La basura y las aguas residuales se tratan y tratan de manera diferente según el nivel de generación de energía en cada país. Las operaciones de vehículos continúan considerando la contribución de metales pesados a la atmósfera, donde predominan el plomo (Pb) y el cadmio (Cd) (Sáenz, 2014).

La industria y la minería aportan grandes cantidades de minerales y sustancias orgánicas al medio ambiente. La composición de estas aguas residuales y residuos varía según sus respectivas fuentes. Los desechos sólidos y líquidos pueden estar contaminados con metales, hidrocarburos y muchas sustancias orgánicas. Las aguas residuales carbonatadas generalmente pueden viajar largas distancias conteniendo estas sustancias suspendidas en la plataforma (Amézquita, 2018).

Aunque el Cd no tiene una función biológica esencial, sus derivados son altamente tóxicos para plantas y animales. Se encuentra en el agua como resultado de actividades humanas como la fundición y refinación de metales, la quema de combustibles fósiles y los fertilizantes fosfatados. La biodisponibilidad en el agua es generalmente alta en comparación con otros metales debido a su alta solubilidad y su unión de energía es baja (Amézquita, 2018).

#### **2.2.4 Tratamientos para eliminación de metales pesados en aguas residuales**

La eliminación de metales pesados de las aguas contaminadas incluye tecnologías predominantes como:

- a. El intercambio iónico
- b. La evaporación
- c. La separación por membranas y
- d. La precipitación química (Shamsi, y otros, 2017)

Requiere altos costos operativos y de capital. Por otro lado, estos procesos son de baja selectividad, alto reactivo, generan desechos secundarios y no pueden usarse de manera efectiva para diversas aguas residuales (Shamsi, y otros, 2017).

Por tal razón, entre los diferentes métodos de eliminación, la adsorción es económicamente atractiva con importantes ventajas como:

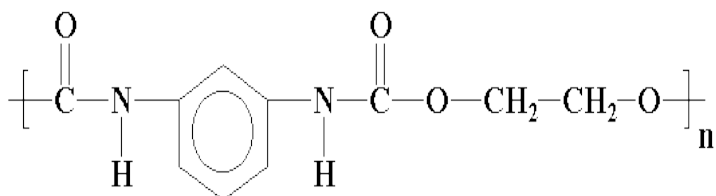
- a. La reducción de productos químicos
- b. Bajo costo
- c. Alta eficiencia.
- d. El adsorbente no requiere nutrientes adicionales y no requiere renovación (Shamsi, y otros, 2017).

#### **2.2.5 Procesos de adsorción**

Cuando un metal pesado se encuentra presente en un intervalo de 1-100 mg/L el proceso de eliminación requiere la forma más adecuada y económica. Por otro lado, las técnicas tradicionales de manipulación de estos metales generan grandes cantidades de desechos químicos y son métodos muy costosos para su posterior eliminación y no son amigables con el medio ambiente (Huamaní, y otros, 2017).

Por lo tanto, la eliminación segura del metal pesado es muy importante. La adsorción es la forma más eficiente y económica de tratar aguas residuales que contienen cadmio porque es rentable y puede eliminar eficazmente el cadmio de las soluciones acuosas. El proceso de adsorción proporciona el diseño y la flexibilidad operativa del, que a menudo produce aguas residuales tratadas de alta calidad. Además, la adsorción a veces es reversible, regenerando adsorbentes usando un proceso de desorción adecuado (Huamaní, y otros, 2017).

## 2.2.6 Material adsorbente espuma de poliuretano



**Figura 1-2** Estructura física y química de la espuma de poliuretano

**Fuente:** (González, y otros, 2016).

La espuma de poliuretano ha tenido numerosos cambios en la composición química de los propelentes contenidos en el polioliol, precisado por regulaciones medioambientales encaminadas a disminuir la destrucción de la capa de ozono y el efecto invernadero, mediante la reducción de emisiones de gases industriales. Los sistemas de poliuretano cumplen estrictamente las normativas y exigencias del protocolo de Montreal de 1991, y desde enero de 2004 no utilizan clorofluorocarbonos (CFC) ni hidrocarburos hidrógeno-fluorados (HCF), que deterioran la capa de ozono (González, y otros, 2016).

La estructura de espuma de poliuretano permite su fácil uso como adsorbente en sistemas en línea de preconcentración y proporciona ventajas sobre otros adsorbentes, menor presión, menor riesgo de fugas, fácil eliminación, bajo costo y buena resistencia a los cambios de pH. (De Sousa et al., 2018).

El poliuretano, es un polímero que incluye una cadena de unidades orgánicas unidas por enlaces carbamato, se aplica como lecho de agente de eliminación y se utiliza en el tratamiento de aguas residuales. En el estudio realizado por (Shamsi, y otros, 2017), se utilizó espuma de poliuretano modificada con DEHPA para la eliminación de iones de metales pesados (Zn, Pb y Cd) de aguas contaminadas.

La espuma de poliuretano es la elección debido a su gran disponibilidad, facilidad de eliminación sin costosas renovaciones y bajo costo. Varios parámetros que afectan el proceso como; el tiempo de remoción, la concentración inicial de iones, el pH de la solución acuosa, la masa del adsorbente y la altura del lecho se estudiaron y debatieron utilizando una columna de lecho fijo. Se analizaron los estudios cinéticos y las isothermas del proceso de adsorción (Shamsi, y otros, 2017).

### **2.2.7 Adsorción**

La adsorción es un fenómeno de superficie que implica la transferencia de masa de un adsorbente (líquido o gas) a la superficie de un sólido (adsorbente) a través de fuerzas físicas o químicas, un proceso que ocurre principalmente de manera débil en la superficie del adsorbente (García, y otros, 2012).

Dependiendo de la naturaleza de las fuerzas implicadas, existen dos tipos de adsorción:

1. La adsorción física (fisisorción): Donde el adsorbente está unido a la superficie por una fuerza relativamente débil (fuerza de Van der Waals). Este es un fenómeno con un grado de especificidad relativamente bajo porque la molécula adsorbida no está fijada en un punto preciso de la superficie, sino que se mueve libremente a través de ella, también es capaz de formar más capas en la superficie, una superficie de presión relativamente alta. Una molécula que ha sido adsorbida por un fenómeno físico conserva su forma original después de la desorción. La adsorción física es siempre un proceso exotérmico (García, y otros, 2012).

2. La adsorción química (quimisorción): Este proceso implica el intercambio o compartir electrones entre las moléculas y la superficie adsorbentes lo que resulta en una reacción química debido a la formación de compuestos químicos (García, y otros, 2012).

La energía de un proceso de quimisorción tiene la misma magnitud que el cambio de energía en una reacción química comparable. Si una molécula adsorbida químicamente sufre reacciones de disociación química, pierde su forma original y no se puede recuperar por desorción. Cabe destacar que el estudio del proceso de adsorción implica la determinación de la cinética e isothermas de adsorción, así como la influencia de los parámetros de pH, masa adsorbente, temperatura, entre otros parámetros durante el proceso de adsorción (García, y otros, 2012).

### **2.2.8 Modelos de isothermas de adsorción**

La adsorción para un sistema sólido-líquido, por lo general, es un proceso más complejo que la adsorción de un sistema sólido-gas, debido principalmente a:

1. Las moléculas adsorbidas no necesariamente estarán completamente empaquetadas con la misma orientación, aunque se puede suponer que se obtendrá una adsorción de una sola capa, y
2. El solvente puede competir con el adsorbente. Depende de los sitios de adsorción en el 'adsorbente', debido al llamado efecto disolvente.

Por esta razón, en la literatura existen muchas isotermas que se utilizan para modelar los procesos de adsorción. Los modelos isotérmicos notificados para la adsorción de iones se presentan a continuación (Huamaní, y otros, 2017)

#### 2.2.8.1 Modelo de Langmuir

El modelo de Langmuir asume que la adsorción ocurre en un número finito y definido de sitios locales similares y equivalentes que forman una monocapa. Esto ocurre sin ninguna interacción lateral o molesta entre las moléculas adsorbidas (García, y otros, 2012)

La isoterma de Langmuir describe la adsorción homogénea, donde cada molécula tiene entalpía constante y energía de activación (donde los sitios tienen la misma afinidad por el adsorbente), sin ningún desplazamiento del adsorbente en el plano de la superficie (García, y otros, 2012).

La forma linealizada del modelo de Langmuir se expresa mediante la ecuación:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{m\acute{a}x}} + \frac{C_e}{q_{m\acute{a}x}} \text{ Ecuación 1}$$

Dónde,

- $q_e$  (mg/g) representa la capacidad de adsorción o cantidad del adsorbato retenido en el adsorbente en el equilibrio
- $C_e$  (mg/L), es la concentración del adsorbato presente en la solución en el equilibrio;
- $q_{m\acute{a}x}$  (mg/g), es la capacidad máxima de adsorción y,
- $K_L$  (L.mg<sup>-1</sup>), representa la constante de Langmuir relacionada con el calor de adsorción (García, y otros, 2012).

La teoría de Langmuir indica una disminución relativamente rápida de la atracción con un aumento en la distancia entre el adsorbente y el adsorbato. Para esto, una constante adimensional llamada coeficiente de descomposición,  $R_L$ , definida por Webber y Chakkravorti se determina mediante la siguiente ecuación (Obregón, 2012).

$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_0} \text{ Ecuación 2}$$

Dónde,



- $b_L$  (L.mg<sup>-1</sup>) es la constante de Langmuir;
- $C_0$  (mg/L), es la concentración inicial del adsorbato.
- El valor de RL indica si la naturaleza de una adsorción es favorable o desfavorable de la siguiente manera:

RL > 1: Desfavorable; RL = 1: Lineal; 0 < RL < 1: Favorable y RL = 0: Irreversible (Shamsi, y otros, 2017).

#### 2.2.8.2 Modelo de Freundlich

El modelo de Freundlich describe la adsorción no ideal, reversible y heterogénea. Este modelo se puede aplicar a la adsorción multicapa sin una distribución de entalpía uniforme o afinidades de adsorción de superficie heterogéneas (García, y otros, 2012).

El modelo linealizado de Freundlich se representa por:

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde,

- $q_e$  es la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/L) y
- $C_e$  es la concentración de soluto presente en la solución en el equilibrio (mg/L).
- La constante  $K_F$  (mg<sup>1-1/n</sup>. L<sup>1/n</sup>. g<sup>-1</sup>) es un parámetro de la capacidad de adsorción del material y  $1/n$  (adimensional) representa una medida de la intensidad de la adsorción (García, y otros, 2012).

El tipo de isoterma depende del valor  $1/n$ , si dicho valor es mayor o igual a 0,5 la curva de la isoterma es cóncava hacia arriba y la adsorción es desfavorable del tipo III. Si  $1/n$  es menor a 0,5 el tipo de isoterma es similar al tipo II siendo cóncava hacia arriba a altos valores de  $C/C_0$  y la adsorción es favorable (García, y otros, 2012).

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1 Acuoso

Referente a una solución en la cual actúa como solvente (Rodríguez, 2017)

### **2.3.2 Cadmio**

Es un metal blanco dúctil con un tinte ligeramente azulado y se considera uno de los metales pesados más importantes porque a menudo se asocia con depósitos de zinc. Los principales usos de este metal son en la industria de la galvanoplastia, la industria textil, la fabricación de baterías, la estabilización de ciertos plásticos y la fabricación de ciertos pesticidas y fertilizantes, lo que aumenta su distribución y variedad de desarrollo y un gran impacto en el ecosistema (Vaca, 2018).

### **2.3.3 Adsorción**

La adsorción es el proceso de concentrar una sustancia en la superficie de otra fase sólida o líquida. Se considera un fenómeno superficial. La sustancia que se concentra en la superficie se llama adsorbato y la fase que la contiene se llama adsorbente. La adsorción es un fenómeno muy común, pero los sólidos suelen tener una capacidad muy alta para adsorber grandes cantidades de sustancias específicas, por lo que los sólidos con suficiente especificidad y capacidad de adsorción que son útiles como adsorbentes industriales son muy pocos. La demanda de calidad del agua aumenta día a día. Dado que se considera un proceso de purificación, se completan los métodos de tratamiento más comunes, especialmente después del tratamiento biológico (García, y otros, 2012).

### **2.3.4 Aguas residuales**

Esto se debe a que el agua cuyas propiedades originales han sido alteradas por la actividad humana debe tratarse primero, liberarse en aguas naturales o descargarse en los sistemas de alcantarillado antes de reutilizarse para garantizar la garantía de calidad (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

### **2.3.5 Bioacumulación**

La acumulación in vivo se refiere al aumento de la concentración de sustancias químicas en el cuerpo a lo largo del tiempo en comparación con la concentración de sustancias químicas en el medio ambiente. Los compuestos se absorben más rápido de lo que se descomponen (metabolizan) o excretan, y se acumulan en el cuerpo cada vez que se almacenan (LENNTECH, 2021).

### **2.3.6 Cinética de adsorción**

Gracias a los estudios epidemiológicos de biosorción, es posible no solo conocer la tasa de adsorción de metales por el biosorbente y el mecanismo de control postratamiento, sino también seleccionar los

parámetros de transporte para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales. (Bermejo, 2016).

### **2.3.7 Concentración**

Abundancia relativa de un soluto en una solución (Rodríguez, 2017).

### **2.3.8 Dilución**

Este es el procedimiento para seguir para preparar una solución menos concentrada a partir de una solución más concentrada. Agregar más solvente a la cantidad especificada de concentrado al realizar el paso de dilución cambiará (disminuirá) la concentración sin cambiar la incautación de soluto (Rodríguez, 2017).

### **2.3.9 Espectroscopia de absorción atómica**

La espectroscopia de absorción atómica (AAS por sus siglas en inglés Atomic Absorption Spectroscopy), es una técnica extremadamente sensible, y específica debido a que las líneas de absorción atómica son considerablemente estrechas (de 0,002 a 0,005 nm) y las energías de transición electrónica son únicas para cada elemento (Gallegos, y otros, 2012).

### **2.3.10 Fuentes antropogénicas**

Las fuentes artificiales de cadmio se encuentran principalmente en la metalurgia, la industria de fertilizantes, la minería y los procesos de producción de lodos (Bermejo, 2016).

### **2.3.11 Fuentes naturales**

El cadmio no se encuentra en el medio ambiente como metal puro. Por supuesto, es más abundante en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos en los depósitos de zinc, plomo, cobre y cadmio liberados por la liberación de volcanes y la combustión de combustibles fósiles y biomasa (Bermejo, 2016).

### **2.3.12 Metal**

Elementos del centro y la izquierda de la tabla periódica, excluido el hidrógeno. Tiene un brillo metálico brillante, alta conductividad térmica y eléctrica (Rodríguez, 2017).

### **2.3.13 Metales pesados**

El término metal pesado se refiere a elementos químicos metálicos que son relativamente densos y tóxicos o de baja concentración y tóxicos. Ejemplos de metales pesados: mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb) (LENNTECH, 2021)

### **2.3.14 Muestra**

Tomada en un momento y lugar específicos para su análisis individual. Si tiene varios puntos de descarga, debe comprender que una sola muestra incluye una cantidad proporcional al caudal en cada punto. Deberá recogerse durante días laborables. Estas muestras representan la ubicación inicial, el tiempo y la composición del agua en una situación particular. Este tipo de muestra se utiliza para aguas residuales si se emite un permiso de descarga o durante el análisis de aguas residuales que contienen contaminación fecal (Instituto de toxicología de la defensa, 2016).

### **2.3.15 Partícula**

Puede considerarse como un punto material. En la mecánica elemental, se puede asociar a un cuerpo cualquiera el movimiento de una partícula o punto, sin tener en cuenta las dimensiones del cuerpo. El concepto de partícula está asociado, con el punto material, al cual se le puede asociar una masa o una carga (Ramírez, 2016).

### **2.3.16 Tamaño de la partícula**

La adsorción ocurre principalmente dentro de las partículas, desde las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbente (soluta) que se puede adsorber es proporcional al volumen, que es proporcional al área exterior, y a menudo ocurre que las partículas pequeñas tienen un área más grande, es decir, un área más grande conocida. Área de superficie interna debido a huecos por unidad de volumen (Tejada, 2015).

### **2.3.17 pH**

El pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua. La escala del pH es logarítmica con valores de 0 a 14. Un aumento de una unidad en la escala logarítmica equivale a una disminución diez veces mayor en la concentración de iones de hidrógeno. Con una disminución del pH, el agua se hace más ácida y con un aumento de pH el agua se vuelve más básica (State Water Resources Control Board, 2016).

### **2.3.18 ppm**

Relación entre la concentración de una sustancia, como el soluto, en una unidad disuelta en un millón de unidades de disolvente y la concentración de otra sustancia. También se puede expresar en términos de peso, masa, volumen u otra unidad de medida (Green Facts, 2021).

### **2.3.19 Reactor con agitación**

Un reactor de tanque continuamente agitado (CSTR) consiste en un tanque casi completamente agitado en el que fluye continuamente la estera de reacción, descargándose continuamente el material de reacción (material de formación). No es difícil lograr condiciones de agitación con solo viscosidad líquida (Unac, 2011).

### **2.3.20 Volumen**

El volumen de una muestra es la cantidad de espacio que ocupa.

## **2.4 MARCO LEGAL**

### **Constitución del Ecuador**

Art. 12.- Derecho humano el agua.

Art. 14.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano (Sumak Kawsay).

Art. 15.- Fomento del uso de tecnologías limpias y de diminuto impacto.

Art. 66.- Reconocer y garantizar a las personas a vivir en un ambiente sano y equilibrado.

Art. 83 - Numeral 6.- Los ecuatorianos (as) tienen deberes y responsabilidades como respetar los derechos de la naturaleza.

Art. 276.- Régimen de desarrollo.

Art. 282.- Soberanía alimentaria.

Art. 314.- Provisión de servicios públicos de agua potable y riego

Art. 313.- Sectores estratégicos, servicios y empresa pública.

Art. 318.- Agua patrimonio nacional estratégico

### **Régimen del Buen Vivir**

Art. 395.- Reconocimiento de algunos principios ambientales

Art.- 396.- Adopción de políticas y medidas en torno a la protección del ambiente y evitar sus impactos perjudiciales.

Art. 411.- Manejo integral de los recursos hidrográficos

Art. 412.- Responsabilidad de planificación, regulación y control por la autoridad única del agua.

### **Declaración de Río de Janeiro sobre el medio ambiente.**

Principio 3.- El desarrollo debe practicarse de manera sostenible

Principio 4.- Protección del ambiente como ámbito elemental en el desarrollo sostenible

Principio 25.- La paz, el desarrollo y protección del ambiente están ligados y dependen entre sí.

### **Agenda 21**

Su objetivo es establecer prioridades para el manejo y conservación de los recursos naturales. Estas prioridades se agrupan en cuatro categorías amplias, como biodiversidad, atmósfera, agua y tierra.

### **Convenio Sobre La Diversidad Biológica.**

Los objetivos de este Convenio, perseguidos de conformidad con sus disposiciones, son la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados del uso de los recursos. pleno acceso a estos recursos y transferencia adecuada de tecnologías relacionadas, teniendo en cuenta todos los derechos sobre estos recursos y tecnologías y con la financiación adecuada.

### **Ley Orgánica De Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua**

Art. 23.- Competencia de la Agencia de Régimen y Control

Art. 25.- Consejo de la Cuenca

Art. 32.- Gestión pública o comunitaria del agua

Art. 34.- Gestión integrado e integral de los recursos hídricos

Art. 64.- Conservación del agua

Art. 66.- Restauración y recuperación del agua.

Art. 71.- Derechos colectivos sobre el agua

Art. 80.- Vertido, prohibiciones y control

Art. 117.- Uso y aprovechamiento del agua subterránea.

Art. 90.- condiciones para el otorgamiento de autorizaciones de uso del agua

### **Ley Orgánica de Salud, R.O. N° 423 del 22 de diciembre del 2006.**

Art. 103.- Prohibición de descargar aguas servidas o residuales sin el tratamiento apropiado. Art. 104.- Obligatoriedad de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de desechos tóxicos

Art. 115.- Cumplir normas y regulaciones sobre los plaguicidas, fungicidas y otras sustancias que puedan ser nocivas para la salud humana.

Art. 116.- Prohibición sobre plaguicidas y otras sustancias vetadas por las normas sanitarias.

## **Código Orgánico Integral Penal.**

Art. 215.- De los delitos contra el agua.

## **Ley De Comercialización Y Empleo De Plaguicidas, Codificación 11**

Art.23.- Prohibición de la aplicación aérea de plaguicidas y productos semejantes exageradamente tóxicos y peligrosos.

Art.24.- Responsabilidad del empleador vigilar por su personal que participe en el manejo de plaguicidas y semejantes.

## **Texto unificado de legislación ambiental secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)**

Libro VI, Anexo 1

## **Ley De Prevención Y Control De La Contaminación Ambiental**

Art. 6.- Prohibición de descarga

Art. 8.- Ministerios de Salud y del Ambiente fijan grado de tratamiento de aguas residuales

Art. 9.- Ministerio de Salud y del Ambiente supervisan la construcción de plantas de aguas residuales.

## **Ley Forestal Y De Conservación De Áreas Naturales Y Vida Silvestre**

Artículo 73.- El Ministerio del Ambiente le corresponderá:

2.- Prevenir y controlar la contaminación de las aguas.

3.- Proteger y evitar la liquidación de especies de flora y fauna silvestre

## **Ley De Gestión Ambiental.**

Art. 33 y 34.- Establecimiento de los instrumentos de aplicación de las normas ambientales.

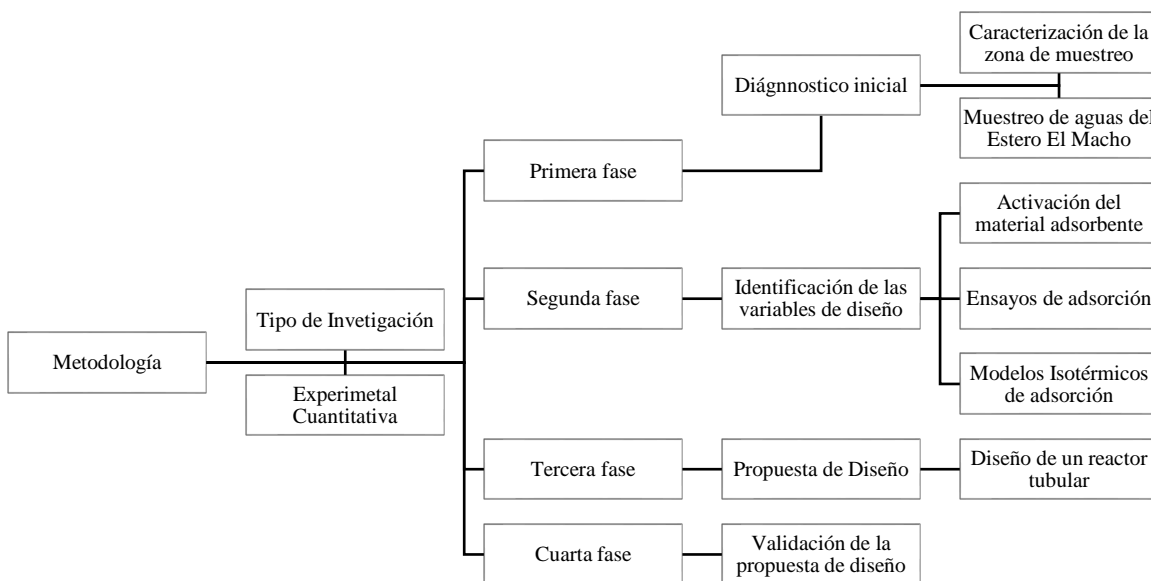
Art. 35.- Sobre los incentivos económicos para las actividades productivas que protejan al medio ambiente.



## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el tercer capítulo del presente estudio se detalla el enfoque metodológico utilizado, los métodos y técnicas que permitieron la síntesis de los resultados para verificar la hipótesis planteada, mediante pruebas y medidas experimentales, con el diseño de un proceso para la remoción de cadmio de las aguas del Estero El Macho.



**Figura 1-3** Metodología del trabajo de investigación

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

### **3.1 Tipo y Diseño de la Investigación**

#### **3.1.1 Tipo de Investigación**

La investigación es de tipo cuantitativa porque se asignó valores numéricos a la investigación analizada, el propósito fue estudiar con métodos estadísticos posibles relaciones entre las variables y generalizar a una población.

También se catalogó a la investigación de tipo científico ya que se profundizó con arduo y recóndito estudio el arte para el análisis, interpretación, resultados y opiniones que describieron en cada una de sus investigaciones los autores citados en la recopilación bibliográfica.

#### **3.1.2 Diseño de la Investigación**

La investigación fue experimental de tipo longitudinal con un enfoque de carácter científico, donde las variables concentración final y porcentaje de remoción fueron medibles o manipulables como sujeto del experimento.

### **3.2 Métodos de investigación**

Los métodos de investigación científica que se utilizaron son los siguientes:

#### **3.2.1 Método Deductivo**

El trabajo de investigación fue de tipo deductivo ya que partió de lo general a lo más particular, en este caso la concentración de cadmio presente en el Estero El Macho, partiendo de allí se determinó el tamaño de la partícula de la espuma de poliuretano y el tiempo de remoción utilizados.

#### **3.2.2 Método de Analítico**

La investigación se enfocó directamente en remover un componente netamente encontrado en las muestras de agua del Estero El Macho.

### **3.3 Enfoque de la Investigación**

Se estableció un enfoque cuantitativo de tipo continuo, basado en la medición de 1 o más atributos del fenómeno descrito. En la investigación se obtuvo valores numéricos de la concentración final de cadmio y el tiempo adecuado para su remoción.

### **3.4 Alcance de la Investigación**

Fue de tipo explicativo con el objetivo de remover cadmio a valores inferiores de 0,001 mg/l y cumplir con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA

### **3.5 Población de Estudio**

La población de estudio de la investigación fue el Estero El Macho que se encuentra localizado en la zona norte de la ciudad de Machala, de donde se tomaron las muestras de aguas.

#### **3.5.1 Localización de la investigación**

El Estero El Macho se encuentra localizado en la zona norte de la ciudad de Machala, sus aguas transitan en sentido Este-Oeste, en una longitud de 6,5 Km.

#### **3.5.2 Unidad de Análisis**

La unidad de análisis de la investigación fueron las aguas del Estero El Macho ubicado en la zona norte de la ciudad de Machala.

### **3.6 Selección de la Muestra**

No se aplicará la formula respectiva, la presente investigación se tomará el 100% de la muestra con el objetivo que la muestra sea representativa.

### **3.7 Tamaño de Muestra**

El tamaño de la muestra de la investigación fue el 100% de la muestra con el objetivo que esta fuese representativa.

### **3.8 Técnicas de Recolección de Datos**

#### **3.8.1 Técnica analítica**

Se identificaron tres puntos de muestreo en el Estero “El Macho” para conocer las concentraciones iniciales de cadmio mediante espectroscopia de absorción atómica.

### 3.8.2 Instrumentos para procesar datos recopilados

- Adsorción

Se utilizó un reactor tubular relleno de poliuretano.

- Medición de concentración

Métodos de análisis: Absorción atómica

### 3.9 Tabla del Diseño experimental

#### Diseño

Se trabajó con el diseño experimental factorial.

Número de pruebas =  $m^n$

Donde:

- $m$ = Número de niveles de las variables independientes.
- $n$ = Factores o variables independientes.

En la investigación se trabajó con dos variables independientes (concentración de las soluciones acuosas de Cd (II) y tiempo de remoción) en cinco niveles, por lo que el diseño experimental es  $3^5$ .

Entonces el número de pruebas es 15.

**Tabla 1-3** Variables y niveles para el desarrollo experimental.

Niveles de variables independientes					
Variables	1		2		
Tamaño de partícula	1	2		3	
Tiempo de remoción	60	120	180	240	300

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

En la Tabla 1-3 se muestra el diseño experimental factorial utilizado en las pruebas experimentales para la adsorción de Cd (II) utilizando espuma de poliuretano activada con nanopartículas de plata.

**Tabla 2-3** Matriz de experimentos

Número de pruebas	Concentración final (mg/L)	Tiempo (min)
1	1	60
2	1	120
3	1	180
4	1	240
5	1	300
6	2	60
7	2	120
8	2	180
9	2	240
10	2	300
11	3	60
12	3	120
13	3	180
14	3	240
15	3	300

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

Con el objetivo de verificar la hipótesis de la investigación propuesta se realizó un estudio estadístico de normalidad.

### **3.10 Hipótesis general**

La espuma de poliuretano como adsorbente reducirá, las concentraciones de cadmio presentes en el agua del Estero El Macho.

### **3.10.1 Identificación de las variables**

#### **Variable independiente**

- Tamaño de partícula de la espuma de poliuretano.
- Tiempo de remoción de cadmio.

#### **Variable dependiente**

- Concentración final de cadmio
- Porcentaje de remoción de cadmio.

### 3.11 Operacionalización de las variables

**Tabla 3-3** Operacionalización de variables

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Definición de los indicadores	Criterio de medición	Técnica	Instrumento	Escala
<b>Tiempo de remoción de cadmio.</b>	Es el tiempo que se tarda un Proceso (químico o físico) en separar un componente (disuelto o suspendido) de una fase continua (solvente o dispersante)	Horas	Concentración de cadmio removido.	El tiempo de eliminación específica identificado en el tiempo mínimo.	Técnica Continua		Cronometro	
<b>Tamaño de partícula de la espuma de poliuretano.</b>	Área adecuada de la espuma de poliuretano que actúe como adsorbente para la remoción de cadmio en las aguas del estero.	cm <sup>3</sup>	Área cubica de la partícula	Área cubica adecuada de espuma de poliuretano para remover cadmio de las aguas del estero.	Técnica Continua	Masa	Balanza	

Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Definición de los indicadores	Criterio de medición	Técnica	Instrumento	Escala
<b>Concentración final de cadmio.</b>	Concentración de cadmio final después del estudio de remoción utilizando espuma de poliuretano.	mg/L	Límite de concentración de cadmio en un cuerpo de agua (0.001 mg/L)	Las concentraciones de cadmio planteados en los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario plasmadas en el Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio de Ambiente del Ecuador TULSMA	Técnica Continua	Espectroscopia de absorción atómica	Espectrofotómetro	0.01 mg/L

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



### 3.12 Matriz de consistencia

**Tabla 4-3** Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES			VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL				
Es factible la remoción de cadmio de las aguas del estero “El Macho” utilizando espuma de poliuretano como adsorbente.	Diseñar un proceso para la remoción de cadmio presente en el agua del estero El Macho en la ciudad de Machala utilizando espuma de poliuretano como adsorbente.	La espuma de poliuretano como adsorbente reducirá, las concentraciones de cadmio presentes en las aguas del estero “El Macho”.				
ASPECTOS ESPECÍFICOS						
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICA				
¿Cuál es concentración inicial de cadmio en las aguas del estero “El Macho”?	Cuantificar las concentraciones iniciales de cadmio mediante absorción atómica en las aguas del estero “El Macho”	Las concentraciones de cadmio identificadas de forma inicial en las aguas del estero “El Macho” dependerá su remoción usando espuma de poliuretano como adsorbente.	<b>V Ind.</b> Concentraciones iniciales de cadmio <b>V Dep.</b>	Concentración de cadmio removido.	Absorción atómica	Espectroscopio

<p>¿Cuáles son las variables de diseño que permitirán la remoción de cadmio de las aguas del estero?</p>	<p>Identificar las variables de diseño que permitan la remoción de cadmio de las aguas del estero El Macho utilizando un reactor de agitación.</p>	<p>Las variables de diseño permitirán la remoción de cadmio de las aguas del estero “El Macho” en un reactor con agitación.</p>	<p>Tamaño de partícula de la espuma de poliuretano</p> <p><b>V Ind.</b></p> <p>Tiempo de remoción de cadmio presente en las aguas del estero utilizando espuma de poliuretano como adsorbente</p> <p>Porcentaje de remoción de cadmio presente en las aguas del estero utilizando espuma de poliuretano como adsorbente.</p> <p><b>V. Dep</b></p> <p>Concentración final de cadmio en las aguas del estero posterior al proceso utilizado.</p> <p>Porcentaje final de cadmio removido en las aguas del estero.</p>	<p>Límite de concentración de cadmio en un cuerpo de agua marina y de estuario (0.001 mg/L)</p> <p>Concentración de cadmio removido.</p>	<p>Técnica analítica</p> <p>Técnica espectroscopia de absorción atómica</p> <p>Absorción atómica</p>	<p>Reactor con agitación.</p> <p>Espectrofotómetro</p> <p>Espectroscopio</p>
--	--	---	--	--	--	--

<p>¿Es posible realizar una prueba de diseño de reactor para la remoción de cadmio en las aguas del estero “El Macho”?</p>	<p>Realizar una propuesta de diseño de reactor para la remoción de cadmio en las aguas del estero El Macho</p>	<p>El tipo y tamaño del reactor en la propuesta de diseño dependerá del porcentaje de remoción de cadmio por la espuma de poliuretano y las características del agua tratada.</p>	<p><b>V Ind.</b> Volumen del reactor. Longitud de reactor Caudal de entrada del reactor</p>			
<p>¿Qué parámetros de diseño se establecerán en el reactor para validar la propuesta?</p>	<p>Validar la propuesta de diseño del reactor a través de los siguientes parámetros: tiempo de retención hidráulica, longitud de la zona de absorción, capacidad de carga máxima y parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto, pH, turbidez, conductividad) del agua del estero El Macho, que cumpla con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA.</p>	<p>Se validará la propuesta de diseño de reactor a través de parámetros de diseño.</p>	<p><b>V. Dep</b> Porcentaje de remoción de cadmio en las aguas del estero</p>	<p>Porcentaje de remoción de cadmio.</p>	<p>Balance de materia</p>	

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### 3.13 Muestreo de aguas

#### 3.13.1 Materiales y equipos para el muestreo

Tabla 5-3 Materiales y equipos para el muestreo

Materiales	Equipos
Cronómetro	pH-METRO PORTATIL MW102
Termómetro	GPS
Frascos Ámbar	
Botas con punta de acero	
Casco	
Cámara fotográfica.	
Libreta para apuntes	
Erlenmeyer	
Frascos aforados	
Cajas térmicas	
Gel refrigerante	

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

#### 3.13.2 Criterio para la selección del punto de muestreo

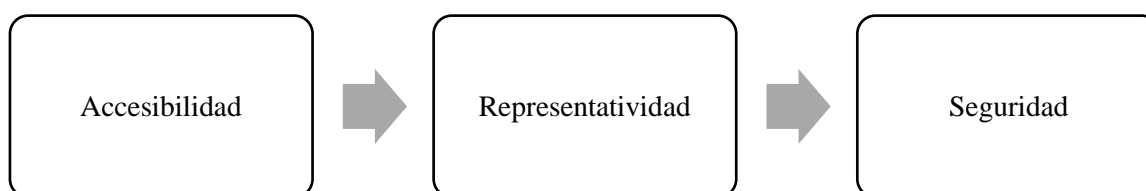


Figura 2-3 Criterios para la selección del muestreo

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

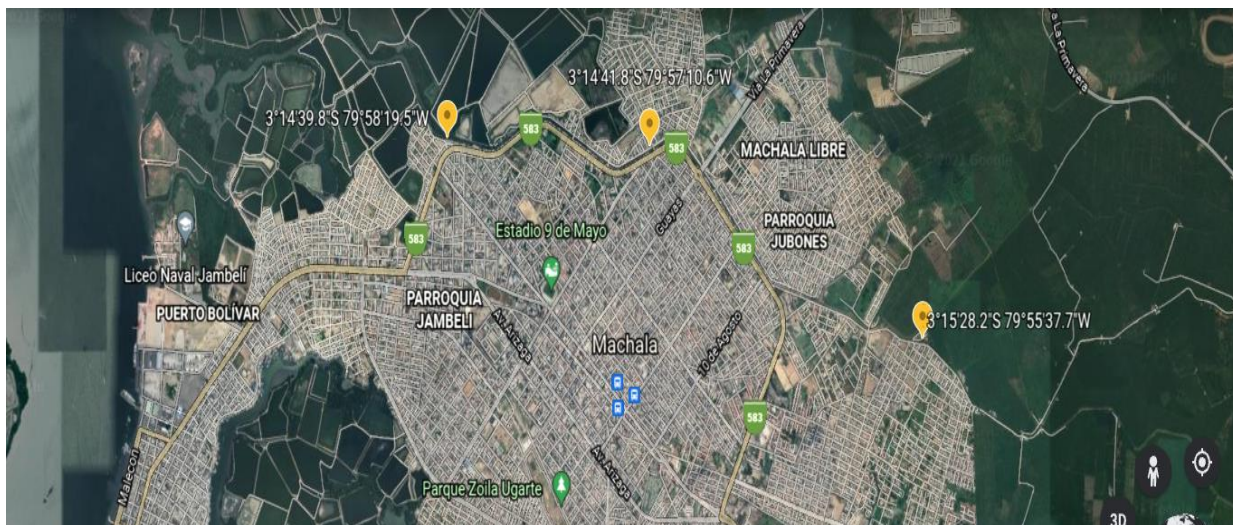
#### 3.13.3 Ubicación de la zona de estudio

La presente investigación se inició con la recolección de las muestras de agua del Estero El Macho de la ciudad de Machala basándose en la accesibilidad, el impacto de las emisiones, las fuentes cercanas

de contaminación y las comunidades adyacentes expuestas, por lo que se estableció tres puntos de muestreo distribuidos a lo largo del canal al inicio, a la mitad y al final con muestras sencillas.

### 3.13.4 Aspectos geográficos de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada al norte de la ciudad, el canal tiene una longitud de 6,5 Km y se encuentra entre las parroquias Providencia sector dos, Jubones sector dos y Jambelí sector uno.



**Figura 3-3** Puntos de muestreo. En amarillo están indicadas las ordenadas de los tres puntos de muestreo

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

Los puntos de muestreo se distribuyeron de la siguiente manera:

#### **Punto de muestreo 1**

Este punto se encuentra ubicado a una corta distancia del inicio del canal perteneciendo a la parroquia Providencia sector dos, fue seleccionado debido a que presenta una menor influencia de los centros poblados y permite evaluar el aumento de la contaminación a lo largo del estero. También, este punto es el más influenciado por las actividades agrícolas (bananeras) del cantón.

**Tabla 6-3** Coordenadas del punto de muestreo 1

Latitud	-3.257823	Barrio Rayito de Luz
Longitud	-79.927132	

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

### **Punto de muestreo 2**

El segundo punto de muestreo está en un sector bastante poblado perteneciente a la parroquia de Jubones, este punto se puede analizar la influencia del aporte de descargas de aguas residuales generadas por actividades domésticas, comerciales y de desarrolladas a lo largo del estero como: lavadoras, lubricadoras, mecánicas, etc., además la planta asfáltadora municipal de Machala.

**Tabla 7-3** Coordenadas del punto de muestreo 2

Latitud	-3.244939	Salida del centro poblado
Longitud	-79.952946	

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

### **Punto de muestreo 3**

En último punto de muestreo se encuentra en la parte final perteneciendo a la parroquia Jambelí este punto permitió verificar la posible influencia de las piscinas camaroneras en la calidad del agua.

**Tabla 8-3** Coordenadas del punto de muestreo 3

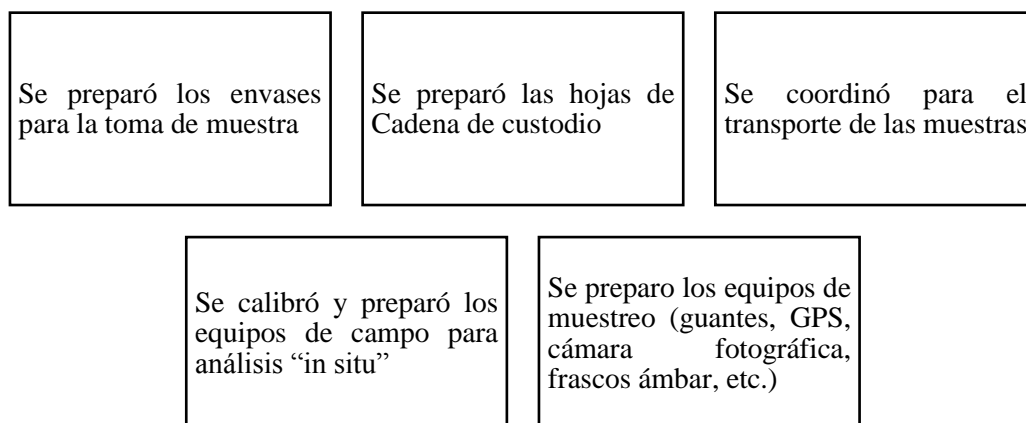
Latitud	-3.244391	Parroquia Jambelí
Longitud	-79.972087	

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

### **3.13.5 Procedimiento para la toma de muestra**

Para la toma de las muestras de agua se siguieron los pasos a continuación:

### Preparación del muestreo

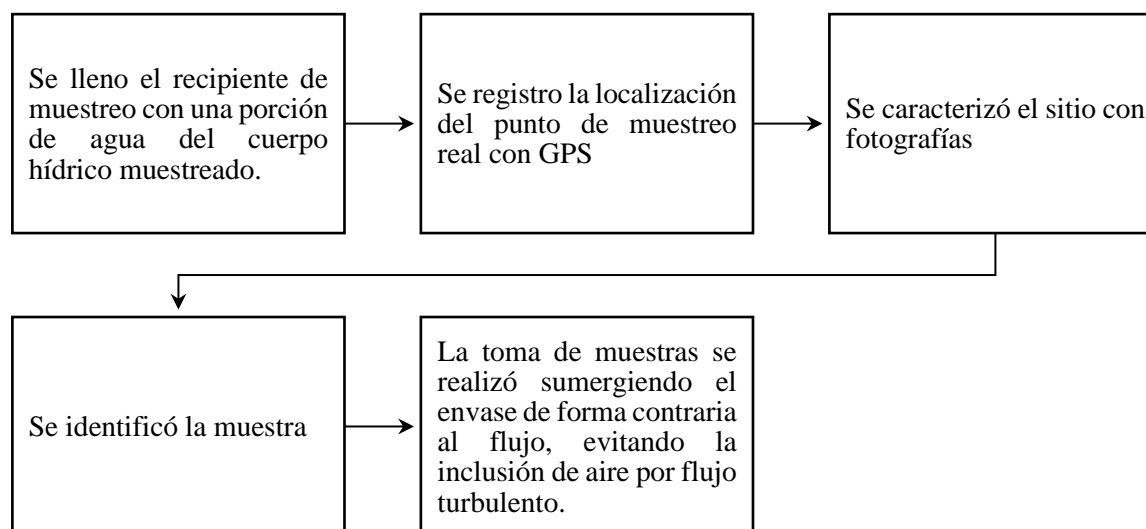


**Figura 4-3** Preparación del muestreo

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### 3.13.6 Toma de muestras

#### Procedimiento de toma de muestras:



**Figura 5-3** Procedimiento de toma de muestras

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### 3.13.7 Análisis de campo

Después de tomadas las muestras en el cuerpo de agua, se midieron los parámetros "in situ" establecidos en el plan de muestreo:

- Se sumergió la sonda limpia del equipo de campo en el cuerpo de agua a muestrear
- Se midió temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez.

### **Llenado de recipientes y preservación de muestras**

- Se preservó las muestras en recipientes térmicos a 4° C
- Se tapo herméticamente cada recipiente y se rotulo con la identificación de la muestra, fecha de muestreo, persona responsable, parámetros a analizar, laboratorio encargado.

### **Sellado de recipientes**

Después de que las muestras fueron envasadas y preservadas, se sellaron las botellas, secando la parte superior de la botella con papel absorbente o un trapo limpio y se envolvieron con cinta de enmascarar alrededor de la tapa y la boca del recipiente, para asegurar que la tapa no se afloje.

### **Almacenamiento de muestras**

Las muestras fueron almacenadas en cajas térmicas para su transporte.

### **Trasporte de muestras**

Se verificó que la caja térmica este con suficiente hielo y bien cerradas para asegurar la refrigeración hasta llegar al laboratorio.

### **Entrega de muestras al laboratorio**

Se firmó la Cadena de Custodio para la entrega de las muestras a los técnicos del laboratorio LAB-METALOR de la ciudad de Machala.

- Métodos de análisis: Absorción atómica
- Elemento analizado: Cadmio
- Equipo utilizado: Perkin El mer 300
- Margen de error: +/- 0.03%



### 3.14 Activación del material adsorbente con nanopartículas de plata.

Para la activación de la espuma de poliuretano se realizó un pretratamiento, con la finalidad de retirar impurezas u otros compuestos que pudiesen afectar al proceso de adsorción.

#### 3.14.1 Pretratamiento de la espuma de poliuretano

Para empezar con el proceso de experimentación primero, la espuma de poliuretano fue sometida un proceso de pretratamiento:

##### Materiales y reactivos

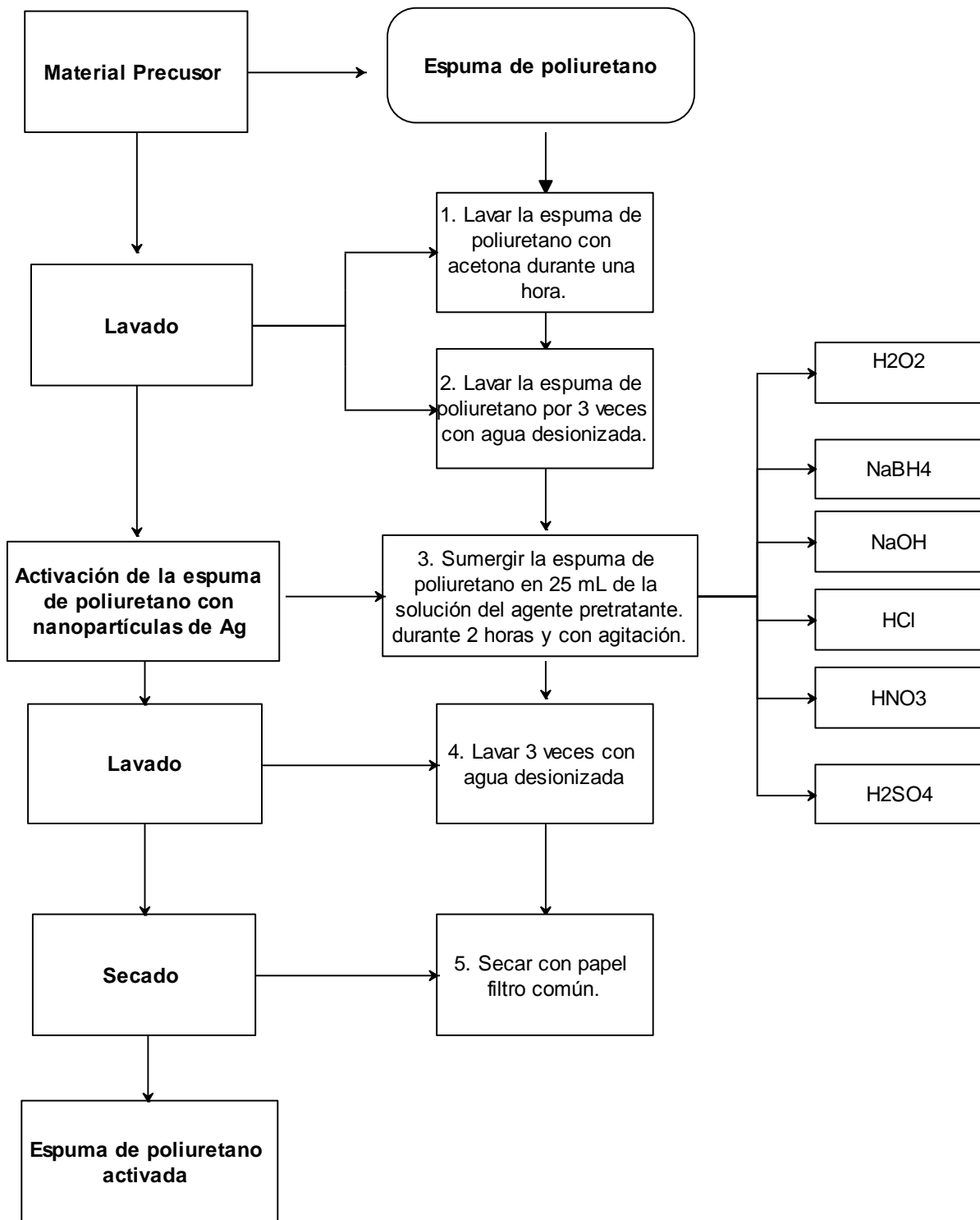
- Acetona
- Agua desionizada
- Agente pretratante
- Espuma de poliuretano
- Papel filtro

**Tabla 9-3** Agentes para el pretratamiento de la espuma

Agente pretratante	Concentración usada
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5%, 10% y 20 %
NaBH <sub>4</sub>	0,5 M
NaOH	0,01M, 0,05M, 0,1M, 1M y 3M
HCl	1M, 3M y 6M
HNO <sub>3</sub>	1M y 3M
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,01M, 0,05M y 0,1M

Fuente: (Ziegler, 2013)

Se utilizaron los agentes pretratantes que están en la Tabla 9-3, para evaluar las propiedades reductoras, ácidas y básicas de los mismos sobre la espuma de poliuretano y observar algún cambio provocado sobre el material. Además, son los reactivos más comunes y disponibles.



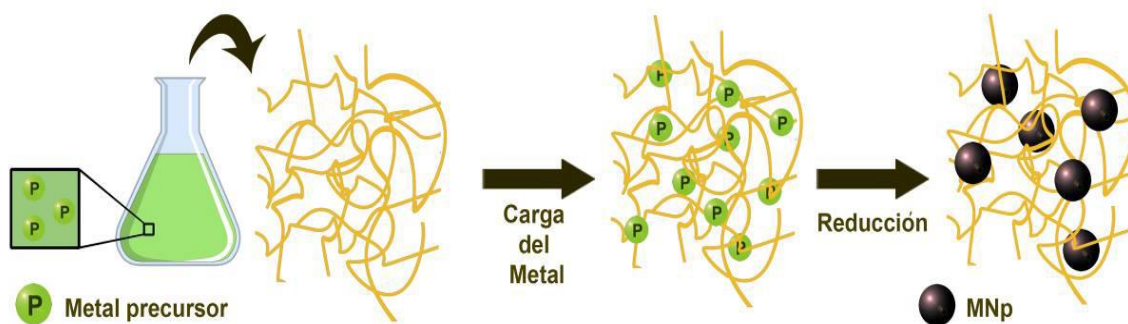
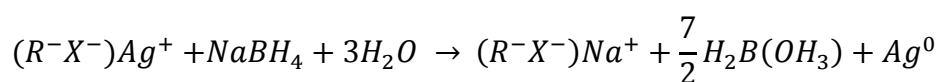
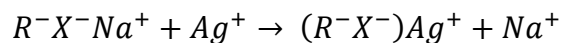
**Figura 6-3** Proceso de pretratamiento de la espuma de poliuretano

Fuente: (Ziegler, 2013)

### 3.15 Activación de la espuma de poliuretano con nanopartículas de plata

Para la activación de la espuma de poliuretano con nanopartículas de plata se realizó lo siguiente:

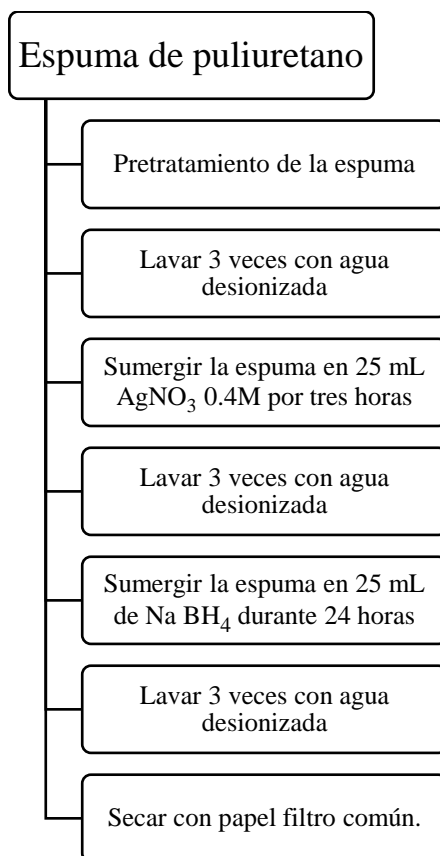
- Inmovilización de los iones metálicos en la matriz polimérica
- La formación de nanopartículas poliméricas dentro de la matriz mediante la reducción de los iones metálicos a las nanopartículas metálicas en estado de oxidación cero.



**Figura 7-3** Esquema de la síntesis matricial

**Fuente:** (Ziegler, 2013)

Para preparación de los nanocompuestos, se utilizó tres tamaños de partícula de la espuma de poliuretano de forma cubica de 1 cm, 0.5cm y 2 cm de lado. La espuma fue tratada siguiendo la Figura 8-3:



**Figura 8-3** Activación de la espuma de poliuretano con nanopartículas de plata

Fuente: (Ziegler, 2013)

### 3.16 Evaluación de la capacidad de adsorción de la espuma de poliuretano para la remoción de cadmio

Para evaluar la capacidad de adsorción del adsorbente, se preparó agua sintética de acuerdo con la concentración real de cadmio presente en las aguas del Estero el Macho, reportada en los resultados. A partir de ahí, se realizaron pruebas de adsorción utilizando espuma de poliuretano como adsorbente.

#### 3.16.1 Preparación del agua residual sintética

Las soluciones del agua sintética residual serán preparadas con el patrón de cadmio basadas en la concentración que arrojen los resultados de los análisis de las muestras tomadas en el Estero El Macho.

### 3.16.2 Ensayos de adsorción

A continuación, en la Tabla 10-3 se muestran los materiales y equipos que se utilizó para trabajar en los ensayos de adsorción.

**Tabla 10-3** Materiales y equipos para los ensayos de adsorción

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Espuma de poliuretano	Reactor tubular
Matraz Erlenmeyer 250 y 500 mL	Bomba peristáltica
Vasos de precipitación de 50, 100 y 200 mL	Cronómetro
Probetas de 100 mL	Balanza analítica
Tubos de ensayo	pH-metro
Varilla de vidrio	
Agitador	
Papel toalla	
Papel de aluminio	
Frascos de vidrio con tapa de 250 y 500 mL	

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

Estos ensayos se los realizara mediante un proceso continuo con recirculación de agua y cumpliendo diferentes parámetros que se detallan a continuación.

#### 3.16.2.1 Ensayo 1

**Tabla 11-3** Parámetros de ensayo 1

<b>Parámetros</b>	
Temperatura ambiente	27 °C
pH	8
Tiempo de remoción	300 min
Tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cubica	0,5 cm de lado
masa de adsorbente	1.5652 g
Concentración inicial de Cd	1.6 ppm

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

### 3.16.2.2 Ensayo 2

**Tabla 12-3** Parámetros de ensayo 2

<b>Parámetros</b>	
Temperatura ambiente	27 °C
pH	8
Tiempo de remoción	300 min
Tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cubica	1.00 cm de lado
masa de adsorbente	1.5652 g
Concentración inicial de Cd	1.6 ppm

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

### 3.16.2.3 Ensayo 3

**Tabla 13-3** Parámetros de ensayo 3

<b>Parámetros</b>	
Temperatura ambiente	27 °C
pH	8
Tiempo de remoción	300 min
Tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cubica	2.00 cm de lado
masa de adsorbente	1.5652 g
Concentración inicial de Cd	1.6 ppm

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

### 3.16.2.4 Procedimiento para los ensayos 1, 2 y 3

- En un reactor tubular vertical conectado a una bomba peristáltica (Anexo E) a una velocidad de bombeo 70 rpm, se colocó la espuma de poliuretano activada con nanopartículas de plata con una masa de 1.5652 g, con un tamaño de partícula de forma cúbica de 0.5 cm, 1.00 cm y 2.00 cm de lado (Anexo B) de acuerdo con cada ensayo.

- Se añadió previamente en el reactor 400 mL de agua sintética con una concentración inicial de 1.6 ppm de cadmio.
- Se realizó el experimento durante un tiempo de remoción 300 minutos.
- Se tomaron muestras de 20 mL cada 60 minutos de cada ensayo, para determinar la capacidad de adsorción de la espuma de poliuretano y el porcentaje de remoción de Cd.
- Se determinó el tiempo óptimo de adsorción.

Las muestras fueron entregadas al laboratorio LAB-METALOR de la ciudad de Machala donde utilizaron para el análisis:

- Métodos de análisis: Absorción atómica
- Elemento analizado: Cadmio
- Equipo utilizado: Perkin El mer 300
- Margen de error: +/- 0.03%

Con los resultados entregados por el laboratorio, se determinó la concentración final de metal presente en la fase líquida, de acuerdo con estos resultados se calculó la concentración de cadmio retenido por la espuma de poliuretano (capacidad de adsorción); utilizando la expresión matemática indicada por la siguiente ecuación:

$$q_e = \left( \frac{C_i - C_f}{m} \right) * V \text{ Ecuación 4}$$

Dónde:

$C_i$  = *Concentración inicial de cadmio*

$C_f$  = *Concentración final de cadmio*

$V$  = *Volumen de solución*

$m$  = *Masa de espuma de poliuretano*

Se calculó el porcentaje de remoción del Cd (II) utilizando espuma de poliuretano activada con nanopartículas de plata, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%R = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100\% \text{ Ecuación 5}$$

Dónde:

$C_i$  Concentración inicial del Cd (II) en la fase acuosa (mg/L).

$C_f$  Concentración final del Cd (II) en el equilibrio en la fase acuosa (mg/L).

$\%R$  Porcentaje de remoción (%)

### **3.17 Microscopía electrónica de barrido**

Se realizó análisis de microscopía electrónica de barrido para obtener microfotografías de las muestras de las espumas de poliuretano antes y después del proceso de adsorción, aplicando una ampliación de 550x.

### **3.18 Análisis Estadístico**

Para la comprobación de la hipótesis planteada en la presente investigación se aplicó la prueba de normalidad y de acuerdo con los resultados obtenidos se aplicó la prueba de correlación r Pearson que fue la más adecuada para la investigación.



## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1 Resultados de los análisis de los puntos de muestreo

A continuación, la Tabla 1-4 presenta los resultados de los parámetros medidos in-situ, los cuales se comparan con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA.

**Tabla 1-4** Resultados de parámetros medidos in situ

Puntos de muestreo	Temperatura °C	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Límite permisible No menor a 5 mg/L	Turbiedad NTU	Límite permisible No mayor a 20	Ce $\mu\text{s/cm}$
P1	27	7.9	1.90		7.43		0.1
P2	27.5	7.8	0.98		9.85		
P3	27	8	0.15		11		

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

#### Análisis

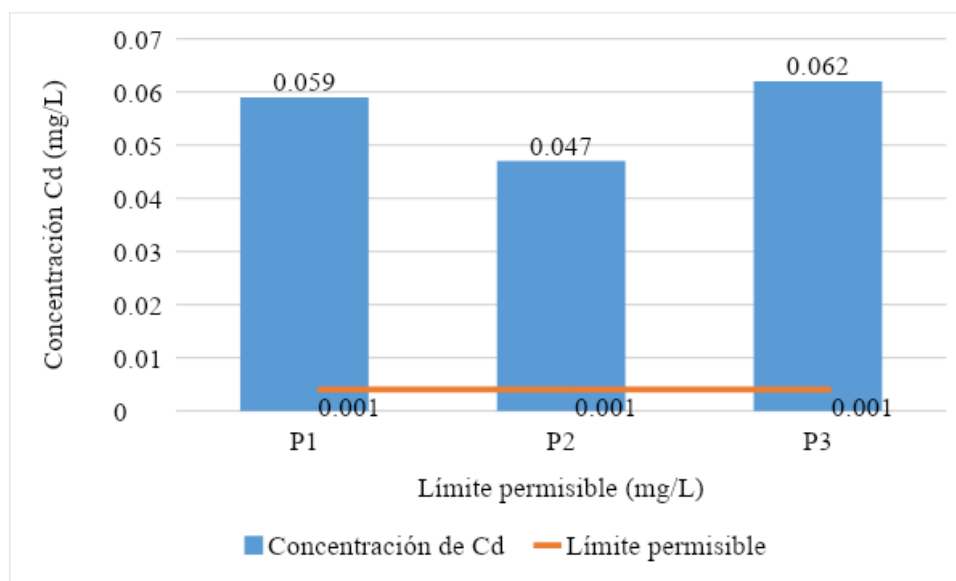
En los resultados que nos muestra la Tabla 1-4 se puede observar que el parámetro oxígeno disuelto está por debajo de los límites permisibles, siendo este un indicador de la calidad del agua, los resultados del parámetro demuestran que la calidad del agua es mala, por lo tanto, existe contaminación de aguas en el Estero El Macho de la ciudad de Machala. Dicha afirmación coincide con el estudio realizado por (Andrade, y otros, 2018) “Plan de manejo para la recuperación ambiental del estero El Macho, cantón Machala”, donde mencionan: La ciudad de Machala y en particular el Estero El Macho son claros ejemplos de las consecuencias socio ecológicas de los fenómenos de crecimiento poblacional, que se reflejan en los resultados del índice de calidad del agua. Se examinó la aplicación del ICANSF en otros países, pero no se encontraron estudios en los que la calidad del agua alcanzara niveles de calidad tan precarios, especialmente para los parámetros coliformes fecales y oxígeno disuelto.

A continuación, la Tabla 2-4 presenta los resultados de las concentraciones de cadmio en los puntos de muestreo del Estero “El Macho” de la ciudad de Machala, analizadas en el laboratorio para verificar que el metal cumple o no los límites aceptables especificados por la norma.

**Tabla 2-4** Resultados de los análisis en el laboratorio de los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Resultado	Límite máximo permisibles	Técnica
P1	0.059 mg/L	0.001 mg/L	Absorción atómica
P2	0.047 mg/L		
P3	0.062 mg/L		

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



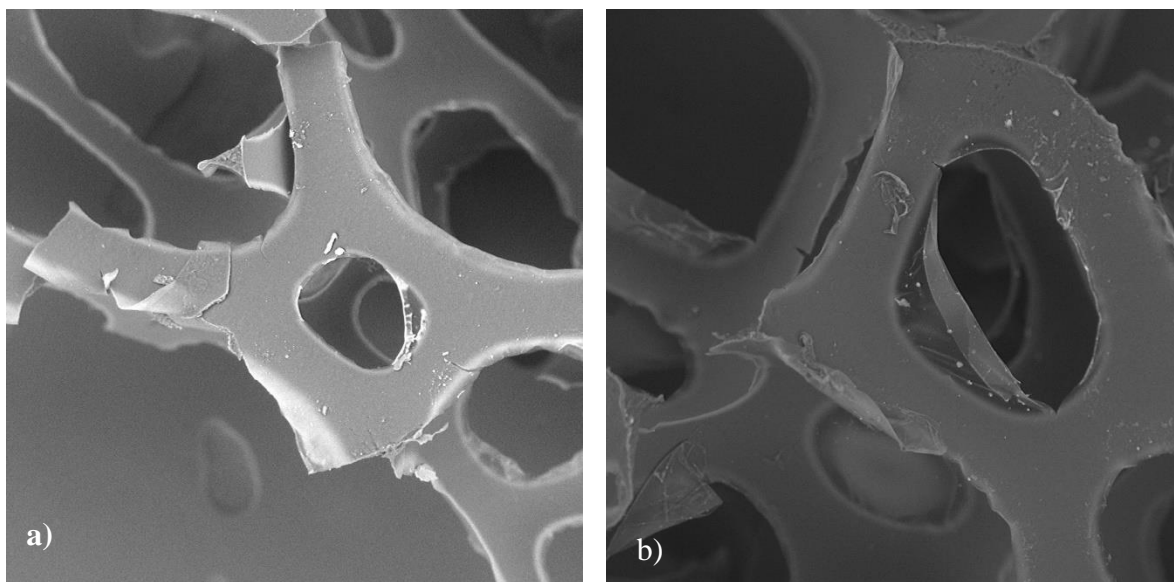
**Gráfico 1-4** Resultados de los análisis de muestreo

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Análisis

En el Gráfico 1-4 podemos observar que los resultados de los análisis en los tres puntos de muestreo del Estero El Macho, la concentración de cadmio está por encima del límite permisible que es 0.001 mg/L, por lo tanto, no cumple con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA. (Ramirez, 2017), en su estudio “Determinación de cadmio y plomo en agua y sedimento del estero El Macho de la ciudad de Machala”, menciona que: el cadmio supera los valores máximos especificados en la normativa ambiental ecuatoriana (para cadmio hasta 10,6 veces), por lo que se considera que el agua está contaminada con metales pesados. Los sedimentos del estuario también se ven afectados por altas concentraciones de cadmio que incluso superan los estándares internacionales.

## 4.2 Microscopia electrónica de barrido de la espuma de poliuretano



**Figura 1-4** Microscopia electrónica de barrido de la espuma de poliuretano, (a) Antes del proceso de adsorción, (b) después del proceso de adsorción de cadmio

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

La Figura 1-4 (a) nos revelo la presencia de nanopartículas de plata en la matriz polimérica empleada. Esto confirma el metal incorporado a la espuma de poliuretano tiene forma de nanopartículas.

En la Figura 1-4 (b) podemos observar la adsorción del metal cadmio en forma de pequeñas partículas adheridas a la espuma de poliuretano.

## 4.3 Resultados de la concentración final de los ensayos de adsorción y la relación con el tamaño de la partícula de la espuma de poliuretano.

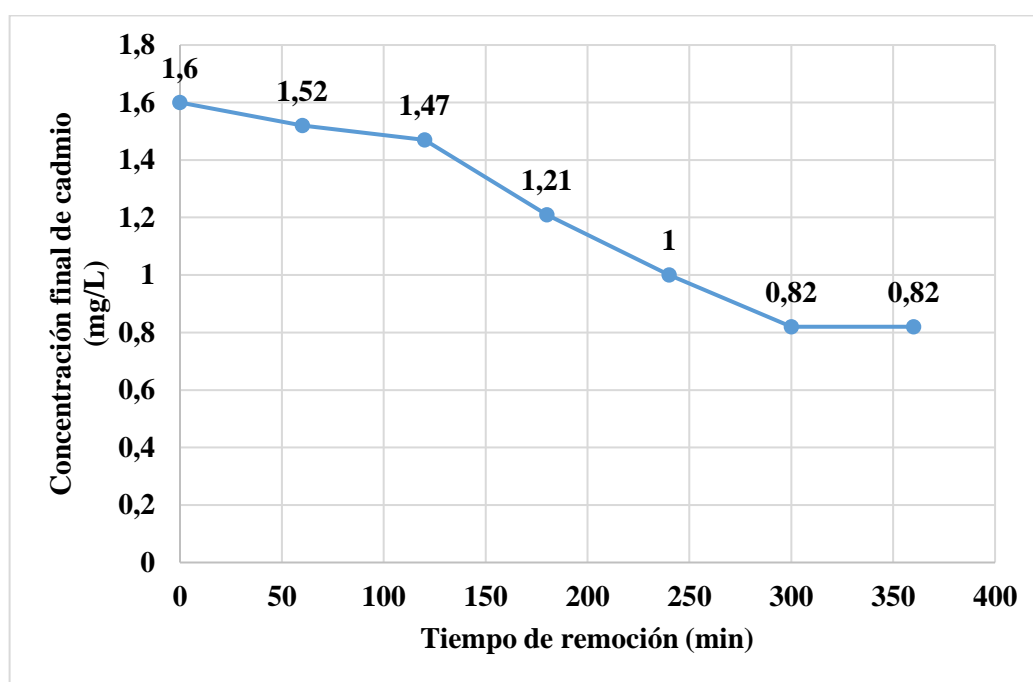
### Ensayo 1

En la Tabla 3-4 y Gráfico 2-4 se muestran los resultados de la concentración inicial y final de cadmio de acuerdo con los parámetros establecidos en el Ensayo 1 dentro de la metodología de la presente investigación y los resultados de los análisis obtenidos en el laboratorio. Para este ensayo se trabajó con un tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cúbica de 0.5 cm de lado.

**Tabla 3-4** Concentración inicial y final de cadmio en el ensayo 1

Código	Tiempo min	Volumen L	Masa de adsorbente	Ci de Cd (II)	Cf de Cd (II)
T0A1	0	0.4	1.5652	1.6	1.6
T1A1	60	0.4	1.5652	1.6	1.52
T2A1	120	0.4	1.5652	1.6	1.47
T3A1	180	0.4	1.5652	1.6	1.21
T4A1	240	0.4	1.5652	1.6	1
T5A1	300	0.4	1.5652	1.6	0.82

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 2-4** Concentración de cadmio vs tiempo de remoción en el ensayo 1

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Análisis

En el Gráfico 2-4 podemos observar que la concentración inicial de cadmio en el ensayo 1 es de 1.60 mg/L, la cual va disminuyendo a medida que el tiempo de remoción se incrementa, dando como resultado después de 300 minutos una concentración final de 0.82 mg/L, por lo tanto, se demuestra que la espuma de poliuretano activada con nanopartículas de plata es efectiva para remover cadmio de

aguas contaminadas con este metal. También, se puede observar que el tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cúbica de 0.5 cm de lado ha logrado adsorber una cantidad mayor de cadmio del agua contaminada en comparación con los ensayos 2 y 3.

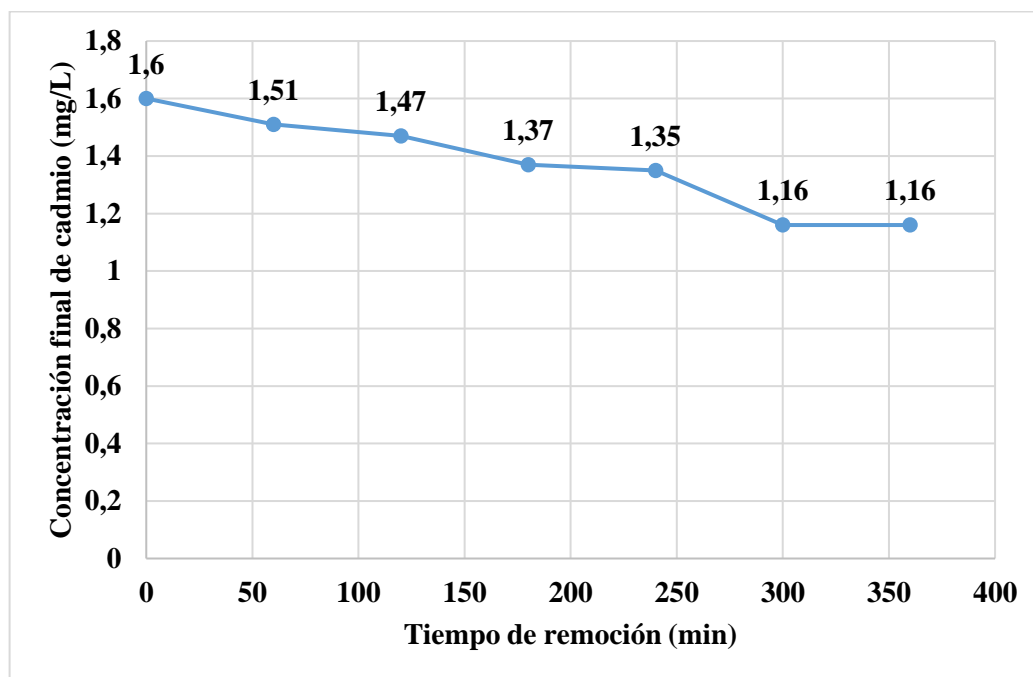
## Ensayo 2

En la Tabla 4-4 y Gráfico 3-4 se muestra los resultados de la concentración inicial y final de cadmio del ensayo 2, de acuerdo con los parámetros establecidos en la metodología de la presente investigación y los resultados de los análisis obtenidos en el laboratorio. Para este ensayo se trabajó con un tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cúbica de 1.00 cm de lado.

**Tabla 4-4** Concentración inicial y final de cadmio en el ensayo 2

<b>Código</b>	<b>Tiempo min</b>	<b>Volumen L</b>	<b>Masa de adsorbente</b>	<b>Ci de Cd (II)</b>	<b>Cf de Cd (II)</b>
T0A2	0	0.4	1.5652	1.60	1.60
T1A2	60	0.4	1.5652	1.60	1.51
T2A2	120	0.4	1.5652	1.60	1.47
T3A2	180	0.4	1.5652	1.60	1.37
T4A2	240	0.4	1.5652	1.60	1.35
T5A2	300	0.4	1.5652	1.60	1.16

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 3-4** Concentración de cadmio vs tiempo de remoción en el ensayo 2

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Análisis

En la Tabla 4-4 y el Gráfico 3-4 observamos que la concentración inicial de cadmio en el ensayo 2 es 1.60 mg/L, dicha concentración va disminuyendo a medida que se incrementa el tiempo de remoción, dando como resultado después de 300 minutos una concentración final de 1.16 mg/L. Demostrando así la efectividad de adsorción de cadmio que tiene la espuma de poliuretano activada con nanopartículas de plata. Además, podemos observar que el tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cubica a 1.00 cm de lado ha logrado adsorber una cantidad media de cadmio del agua contaminada con dicho metal, en relación con los ensayos 1 y 3.

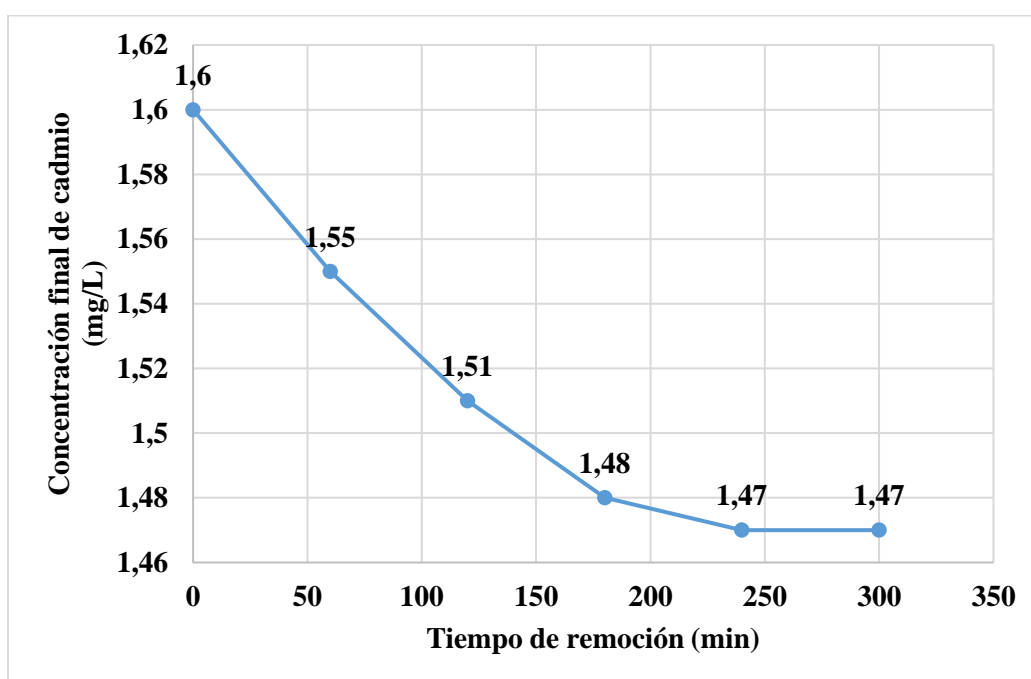
### Ensayo 3

En la Tabla 5-4 y Gráfico 4-4 se muestran los resultados de la concentración inicial y final de cadmio de acuerdo con los parámetros establecidos en el ensayo 3 dentro de la metodología de la presente investigación y los resultados de los análisis obtenidos en el laboratorio. Para este ensayo se trabajó con un tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cúbica de 2.00 cm de lado.

**Tabla 5-4** Concentración inicial y final de cadmio en el ensayo 3

Código	Tiempo (min)	Volumen L	Masa de adsorbente	Ci de Cd (II)	Cf de Cd (II)
T0A3	0	0.4	1.5652	1.6	1.6
T1A3	60	0.4	1.5652	1.6	1.55
T2A3	120	0.4	1.5652	1.6	1.51
T3A	180	0.4	1.5652	1.6	1.48
T4A3	240	0.4	1.5652	1.6	1.47
T5A3	300	0.4	1.5652	1.6	1.47

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 4-4** Concentración de cadmio vs tiempo de remoción en el ensayo 3

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Análisis

En la Tabla 5-4 y Gráfico 4-4 podemos observar que en el ensayo 3 la concentración inicial de cadmio es 1.6 (mg/L), y a medida que el tiempo de remoción se incrementa a partir del minuto 180 la concentración final de cadmio llega a 1.47 (mg/L) y permanece constante hasta alcanzar los 300 minutos que dura el tiempo de remoción en el ensayo, por lo tanto, podemos deducir que el tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cubica influye de forma directa en la adsorción del

cadmio. Para este caso se trabajó con un tamaño de partícula de espuma de poliuretano de forma cubica de 2.00 cm de lado, la cual presenta una baja adsorción del metal en el agua contaminada en relación con los ensayos 1 y 2.

(Tejada Tovar, y otros, 2014) en su artículo “Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials” mencionan el efecto del tamaño de partícula argumentando que: la adsorción tiene lugar en el interior de las partículas, sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato que puede adsorber es directamente proporcional al volumen, y es conocido que este volumen es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial de adsorción, lo cual, concuerda con nuestra investigación en el ensayo 1.

#### 4.4 Relación porcentaje de remoción y tiempo de remoción

Teniendo en cuenta la concentración inicial y final de cadmio en el experimento, se calculó el porcentaje de remoción usando la ecuación (5). Los resultados se muestran a continuación:

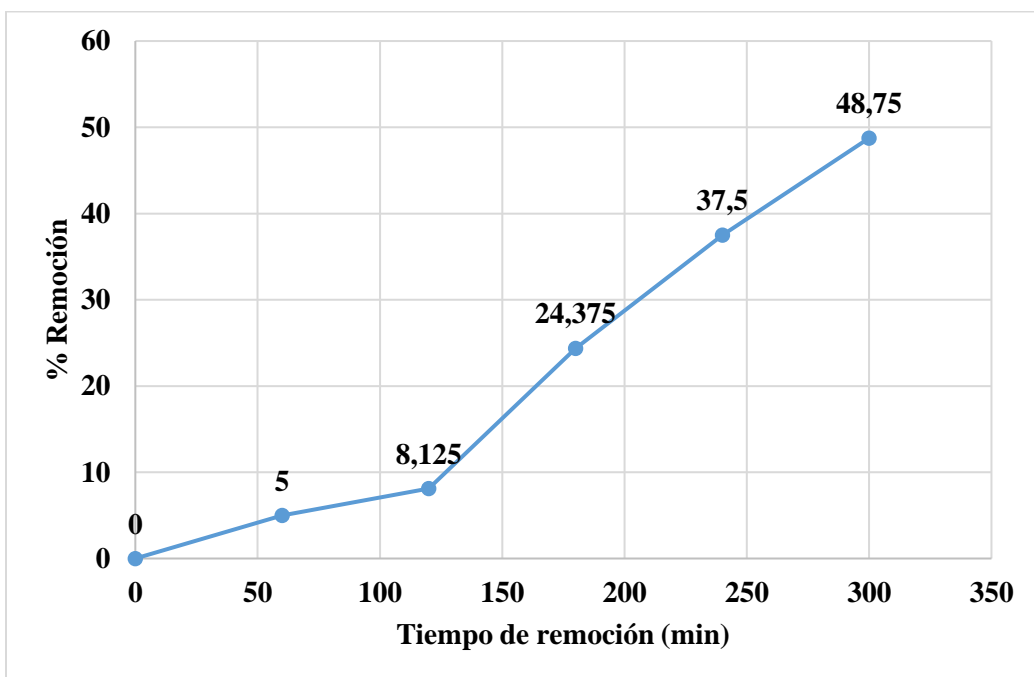
##### Ensayo 1

**Tabla 6-4** Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 1

<b>Código</b>	<b>Volumen L</b>	<b>Masa de adsorbente</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Ci de Cd (II)</b>	<b>Cf de Cd (II)</b>	<b>%Remoción</b>
T0A1	0.4	1.5652	0	1.6	1.6	0
T1A1	0.4	1.5652	60	1.6	1.52	5
T2A1	0.4	1.5652	120	1.6	1.47	8.125
T3A1	0.4	1.5652	180	1.6	1.21	24.375
T4A1	0.4	1.5652	240	1.6	1	37.5
T5A1	0.4	1.5652	300	1.6	0.82	48.75

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021





**Gráfico 5-4** Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 1

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

## Análisis

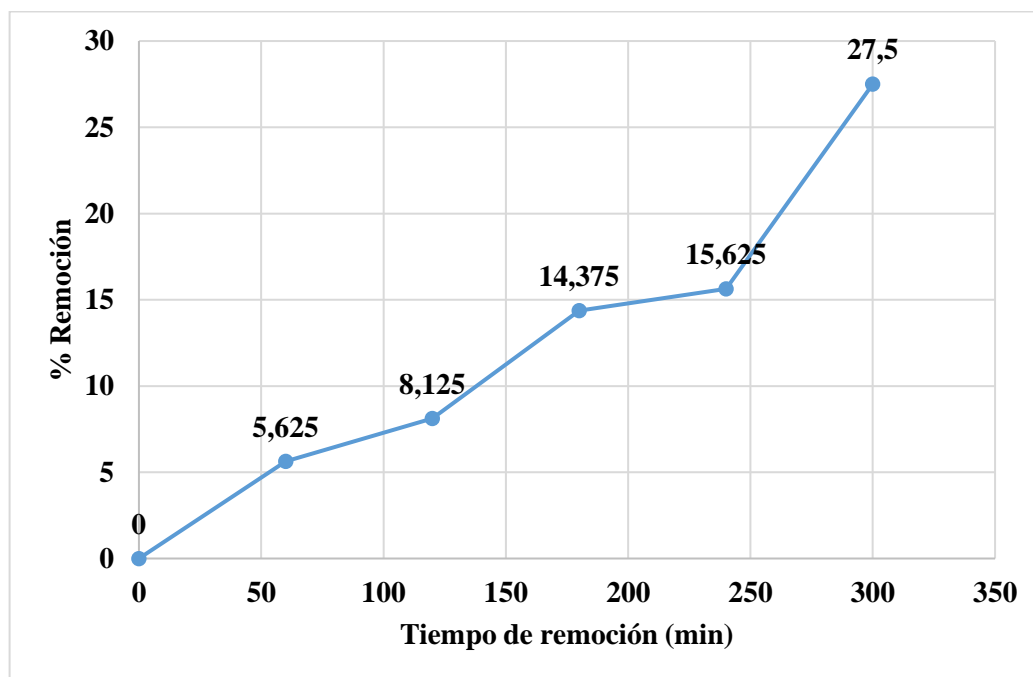
En la Tabla 6-4 y el Gráfico 5-4 del ensayo 1 podemos observar que el porcentaje de remoción alcanzado fue 48.75% al término de 300 minutos.

## Ensayo 2

**Tabla 7-4** Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 2

Código	Volumen (L)	Masa de adsorbente	Tiempo (min)	Ci de Cd (II)	Cf de Cd (II)	% Remoción
T0A2	0.4	1.5652	0	1.6	1.6	0
T1A2	0.4	1.5652	60	1.6	1.51	5.625
T2A2	0.4	1.5652	120	1.6	1.47	8.125
T3A2	0.4	1.5652	180	1.6	1.37	14.375
T4A2	0.4	1.5652	240	1.6	1.35	15.625
T5A2	0.4	1.5652	300	1.6	1.16	27.5

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 6-4** Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 2

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Análisis

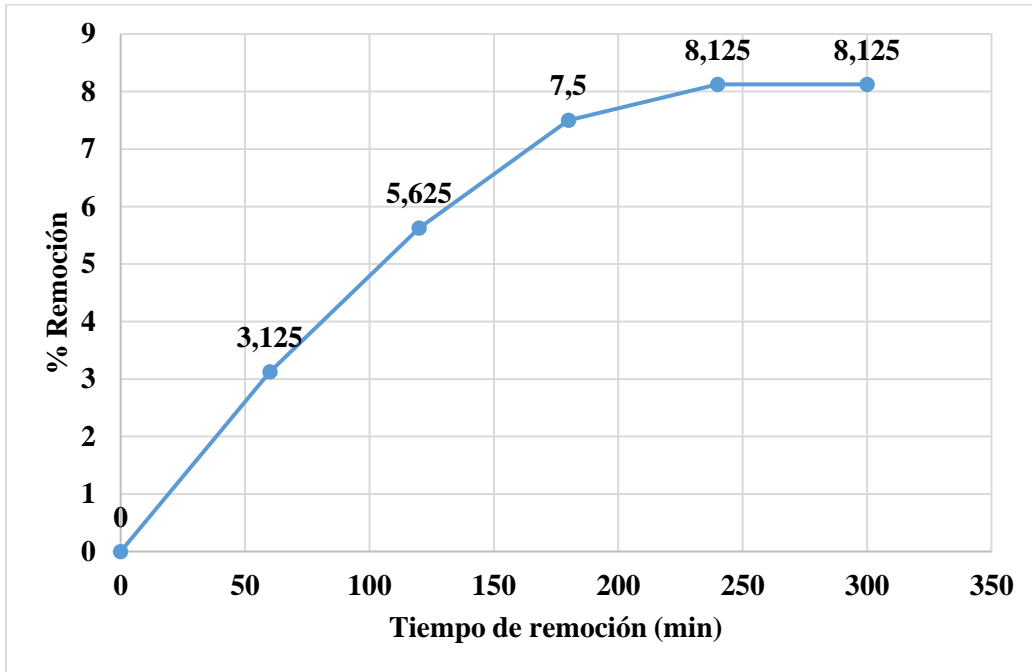
En la Tabla 7-4 y el Gráfico 6-4 del ensayo 2 se puede observar que el porcentaje de remoción final fue 27.5% al término de los 300 minutos que dura el experimento.

### Ensayo 3

**Tabla 8-4** Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 3

Código	Volumen L	Masa de adsorbente	Tiempo (min)	Ci de Cd (II)	Cf de Cd (II)	% Remoción
T0A3	0.4	1.5652	0	1.6	1.6	0
T1A3	0.4	1.5652	60	1.6	1.55	3.125
T2A3	0.4	1.5652	120	1.6	1.51	5.625
T3A	0.4	1.5652	180	1.6	1.48	7.5
T4A3	0.4	1.5652	240	1.6	1.47	8.125
T5A3	0.4	1.5652	300	1.6	1.47	8.125

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 7-4** Tiempo de remoción y porcentaje de remoción ensayo 3

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Análisis

En la Tabla 8-4 y el Gráfico 7-4 del ensayo 3 se puede observar que el porcentaje de remoción final fue 8.125 % al término de los 300 minutos que dura el experimento.

De los 3 ensayos hemos podido observar que hubo un mayor porcentaje de remoción de cadmio en el ensayo número 1, ya que, en este ensayo se utilizó el tamaño de partícula cúbica de espuma de poliuretano de 0.5 cm de lado, comprobando que a menor tamaño de partícula mayor será el porcentaje de remoción de cadmio en aguas contaminadas por este metal.

La finalidad con la que se realizó el presente trabajo de investigación fue alcanzar un porcentaje de remoción del 99% de metal cadmio y se logró  $\%R = 48.75$ , por ende el valor de cadmio en el Estero El Macho se sitúa por encima de los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA, sin embargo, lo hemos considerado como un buen resultado para continuar como punto de partida para futuras investigaciones en este ámbito, considerando que se deben utilizar condiciones y parámetros diferentes a los utilizados en esta experimentación.

#### 4.5 Resultados de la relación tiempo de remoción y capacidad de adsorción

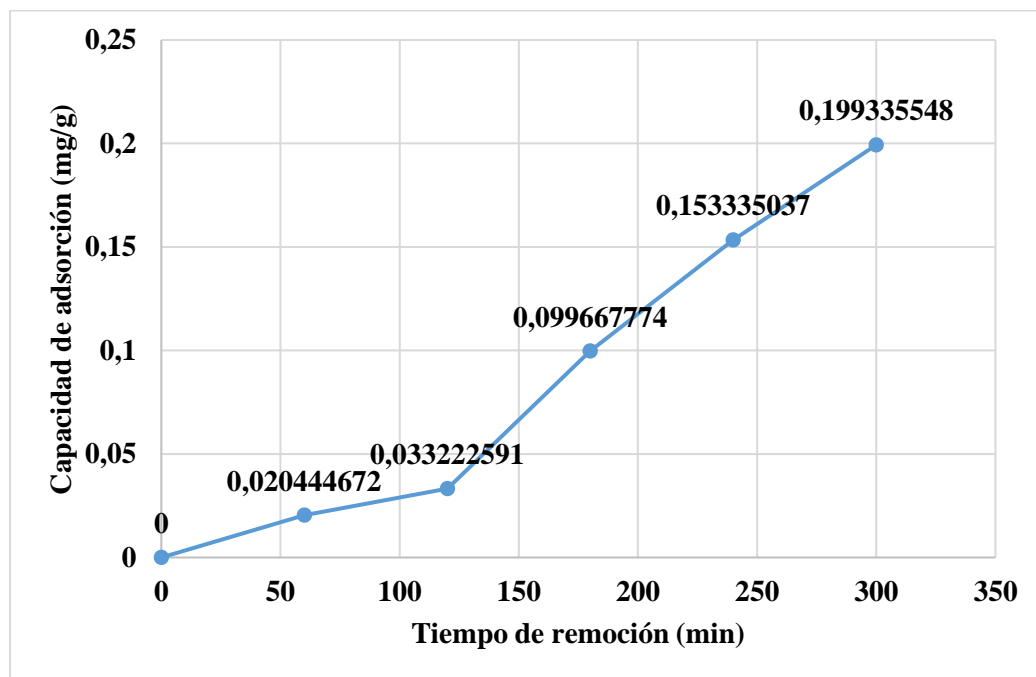
Para el cálculo de la capacidad de adsorción en los tres ensayos se utilizó la ecuación 4.

##### Ensayo 1

**Tabla 9-4** Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 1

Código	Volumen L	Masa de adsorbente	Tiempo (min)	Ci de Cd (II)	Cf de Cd (II)	%Remoción	$q_e=(X/m)v$
T0A1	0.4	1.5652	0	1.6	1.6	0	0
T1A1	0.4	1.5652	60	1.6	1.52	5	0.02044467
T2A1	0.4	1.5652	120	1.6	1.47	8.125	0.03322259
T3A1	0.4	1.5652	180	1.6	1.21	24.375	0.09966777
T4A1	0.4	1.5652	240	1.6	1	37.5	0.15333504
T5A1	0.4	1.5652	300	1.6	0.82	48.75	0.19933555

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 8-4** Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 1

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

## Análisis

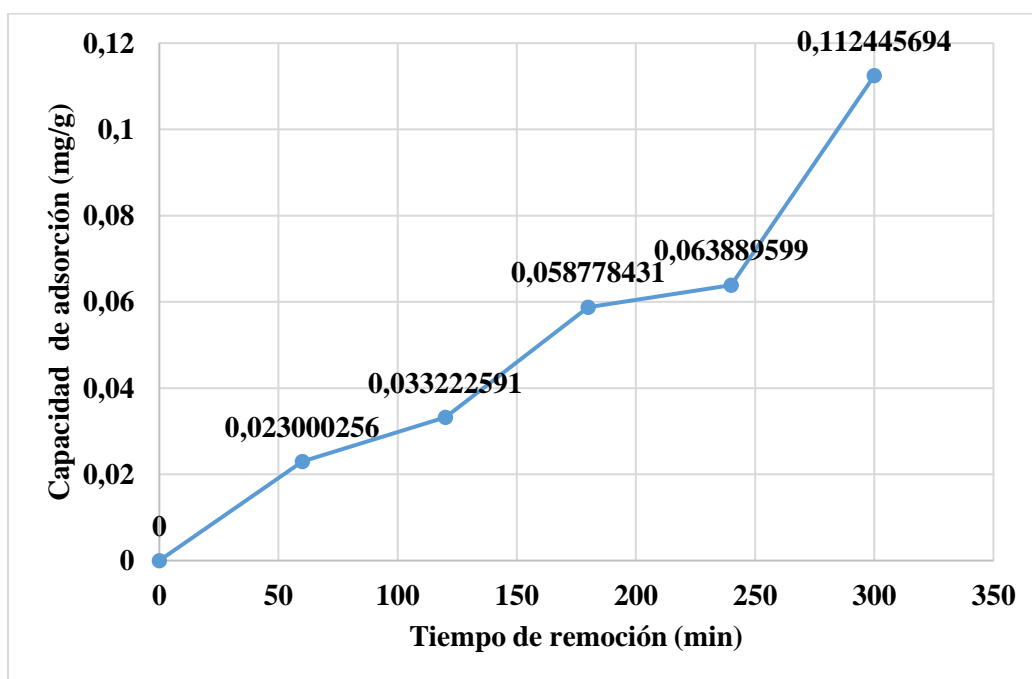
En la Tabla 9-4 y el Gráfico 8-4 del ensayo 1, podemos observar que la capacidad de adsorción alcanzada a un tiempo de remoción de 300 minutos fue 0.199 mg/g.

## Ensayo 2

**Tabla 10-4** Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 2

Código	Volumen L	Masa del adsorbente	Tiempo (min)	Ci de Cd (II)	Cf de Cd (II)	% Remoción	$q_e=(X/m)v$
T0A2	0.4	1.5652	0	1.6	1.6	0	0
T1A2	0.4	1.5652	60	1.6	1.51	5.625	0.02300026
T2A2	0.4	1.5652	120	1.6	1.47	8.125	0.03322259
T3A2	0.4	1.5652	180	1.6	1.37	14.375	0.05877843
T4A2	0.4	1.5652	240	1.6	1.35	15.625	0.06388959
T5A2	0.4	1.5652	300	1.6	1.16	27.5	0.11244569

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 9-4** Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 2

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

## Análisis

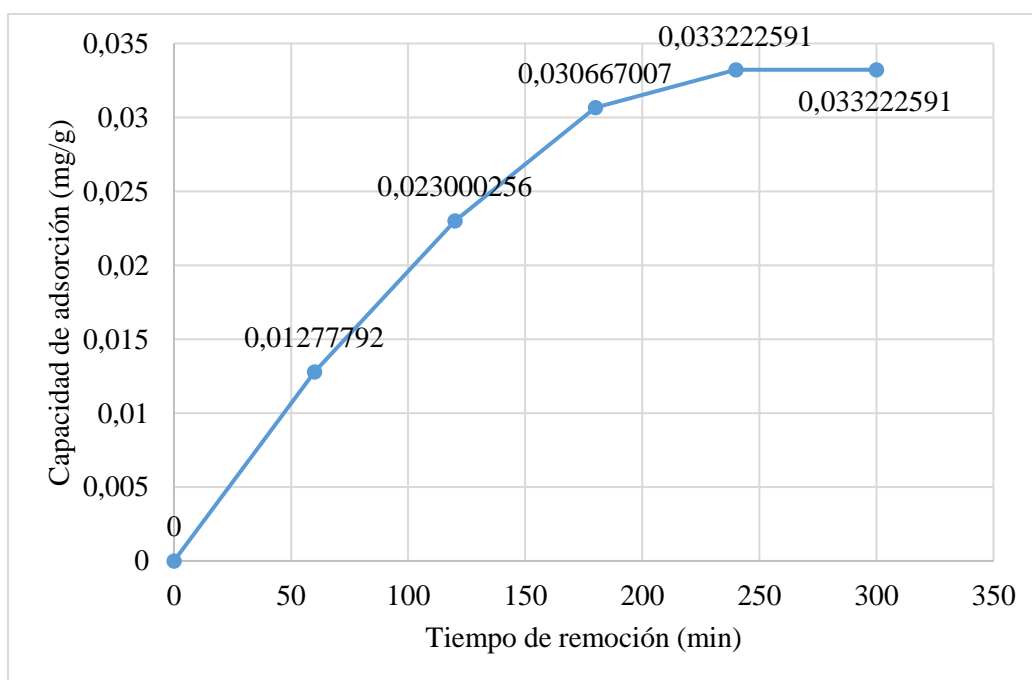
En la Tabla 10-4 y el Gráfico 9-4 del ensayo 2, podemos observar que la capacidad de adsorción alcanzada a un tiempo de remoción de 300 minutos fue 0.112 mg/g.

## Ensayo 3

**Tabla 11-4** Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 3

Código	Volumen L	Masa de adsorbente	Tiempo (min)	Ci de Cd (II)	Cf de Cd (II)	% Remoción	$q_e=(X/m)v$
T0A3	0.4	1.5652	0	1.6	1.6	0	0
T1A3	0.4	1.5652	60	1.6	1.55	3.125	0.01277792
T2A3	0.4	1.5652	120	1.6	1.51	5.625	0.02300026
T3A	0.4	1.5652	180	1.6	1.48	7.5	0.03066701
T4A3	0.4	1.5652	240	1.6	1.47	8.125	0.03322259
T5A3	0.4	1.5652	300	1.6	1.47	8.125	0.03322259

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 10-4** Tiempo de remoción y capacidad de adsorción ensayo 3

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

## **Análisis**

En la Tabla 11-4 y el Gráfico 10-4 del ensayo 3, podemos observar que la capacidad de adsorción alcanzada a un tiempo de remoción de 300 minutos fue 0.033 mg/g.

Según los Gráficos 8-4, 9-4 y 10-4 en los cuales se muestra los resultados experimentales obtenidos en los 3 ensayos, se comprueba que la espuma de poliuretano modificada con nanopartículas de plata presentó un comportamiento en función al tamaño de partícula y capacidad de adsorción de cadmio en aguas contaminadas con este metal, dando como resultado para  $qe = 0.199 \left(\frac{mg}{g}\right)$  en el ensayo 1.

### **4.6 Isotermas de adsorción.**

Para realizar el estudio de las isotermas de adsorción de Cd (II) empleando la espuma de poliuretano modificada con nanopartículas de plata se realizó tres ensayos considerando ciertas condiciones descritas en la metodología.

La adsorción de iones metálicos usualmente puede modelarse utilizando el modelo de Langmuir, en el que el aumento del consumo de metal por el adsorbente alcanza el equilibrio en función del tiempo.

A continuación, se presenta la correlación de los datos experimentales con los modelos linealizados, que permitieron valorar el grado de ajuste a uno u otro modelo mediante la regresión lineal.

#### **4.6.1 Isoterma de Langmuir**

Dado la explicación en la parte teórica se hacen suposiciones acerca de este modelo:

- La superficie de adsorción es homogénea,
- Se forma una monocapa de adsorbato cuando se alcanza la saturación,
- La energía de adsorción es constante y
- Las moléculas adsorbidas permanecen inmóviles.

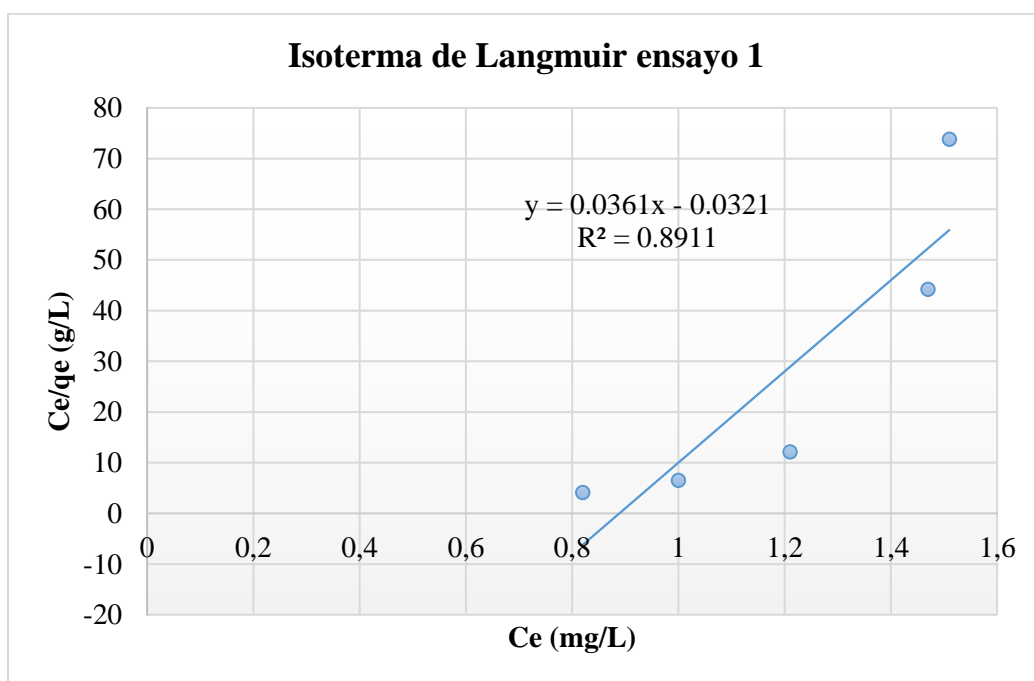
De acuerdo con esto se determina la capacidad máxima (mg./g),  $R_L$  la constante de Langmuir que está relacionada con la energía de adsorción y cuantitativamente refleja la afinidad entre el adsorbente y el adsorbato, se utilizó la ecuación (2). Para el estudio de la isoterma de Langmuir, se utilizó la ecuación (1).

## Ensayo 1

**Tabla 12-4** Valores de  $C_e$  y  $C_e/q_e$  para ensayo 1

Código	V	m	Co de Cd en (mg/L)	X=Co-Ce	$q_e=(X/m)v$	$C_e$ mg/L	$C_e/q_e$
T0A1	0.4	1.5652	1.6	0	0.000	1.6	#DIV/0!
T1A1	0.4	1.5652	1.52	0.08	0.020	1.51	73.857875
T2A1	0.4	1.5652	1.47	0.13	0.033	1.47	44.247
T3A1	0.4	1.5652	1.21	0.39	0.100	1.21	12.1403333
T4A1	0.4	1.5652	1	0.6	0.153	1	6.52166667
T5A1	0.4	1.5652	0.82	0.78	0.199	0.82	4.11366667

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 11-4** Isoterma de Langmuir ensayo 1

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

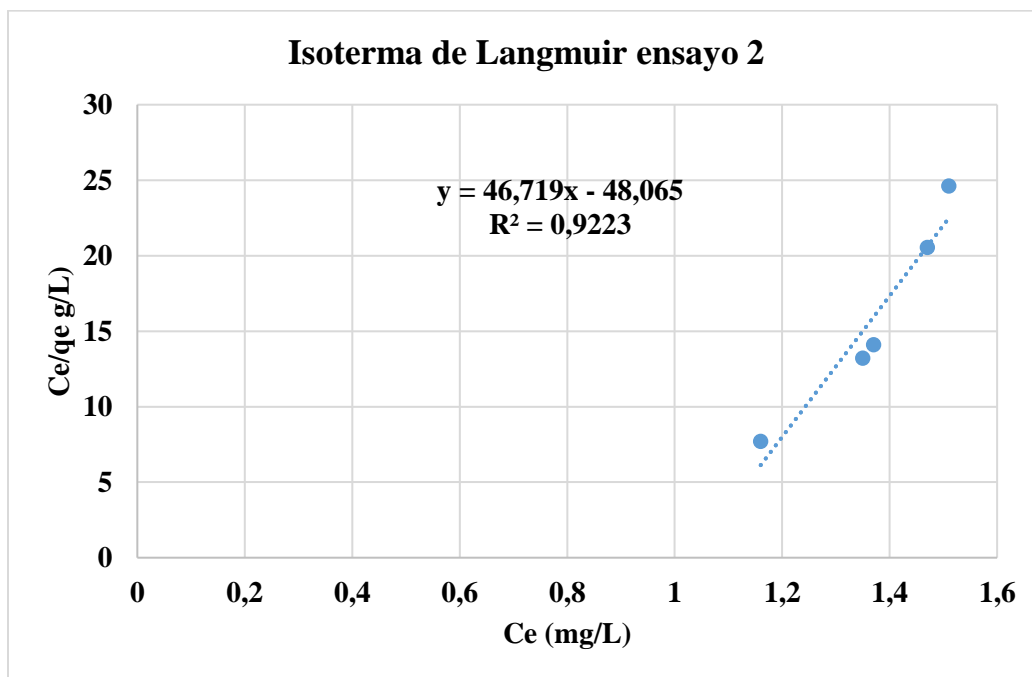


## Ensayo 2

**Tabla 13-4** Valores de  $C_e$  y  $C_e/q_e$  para ensayo 2

Código	V	m	Ce de Cd en (mg/L)	X=Co-Ce	qe=(X/m)v	Ce	Ce/qe
T0A2	0.4	1.5652	1.6	0.15	0.038	1.6	41.7386667
T1A2	0.4	1.5652	1.51	0.24	0.061	1.51	24.6192917
T2A2	0.4	1.5652	1.47	0.28	0.072	1.47	20.54325
T3A2	0.4	1.5652	1.37	0.38	0.097	1.37	14.1073947
T4A2	0.4	1.5652	1.35	0.4	0.102	1.35	13.206375
T5A2	0.4	1.5652	1.16	0.59	0.151	1.16	7.69335593

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 12-4** Isoterma de Langmuir Ensayo 2

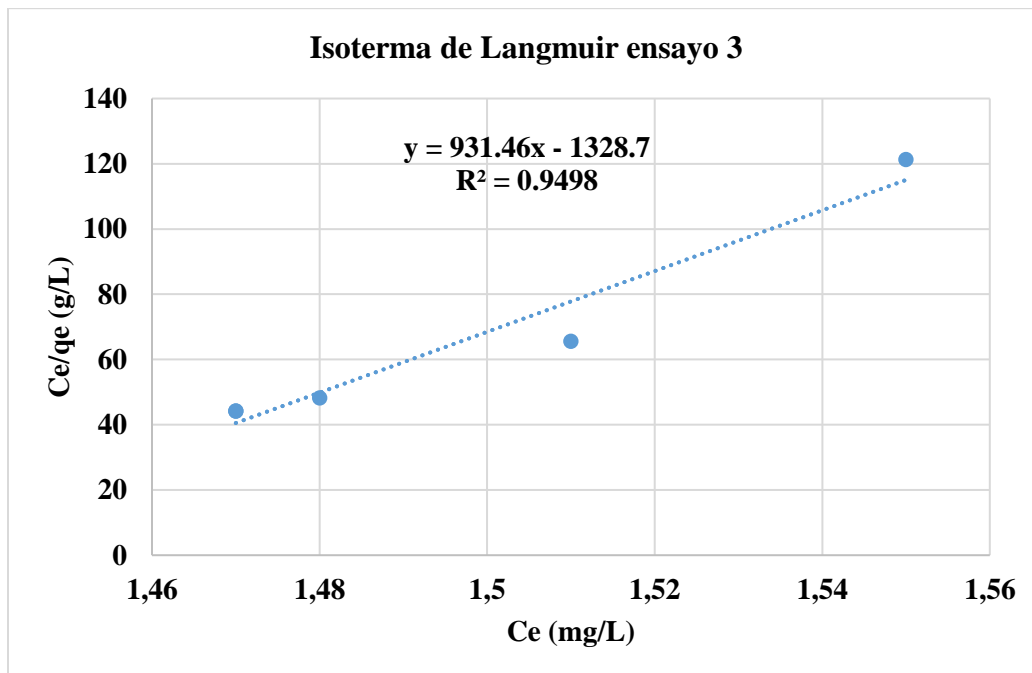
Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Ensayo 3

**Tabla 14-4** Valores de  $C_e$  y  $C_e/q_e$  para ensayo 3

Código	V	m	Ce de Cd en (mg/L)	X=Co-Ce	$q_e=(X/m)v$	Ce	Ce/ $q_e$
T0A3	0.4	1.5652	1.6	0	0.000	1.6	#DIV/0!
T1A3	0.4	1.5652	1.55	0.05	0.013	1.55	121.303
T2A3	0.4	1.5652	1.51	0.09	0.023	1.51	65.6514444
T3A	0.4	1.5652	1.48	0.12	0.031	1.48	48.2603333
T4A3	0.4	1.5652	1.47	0.13	0.033	1.47	44.247
T5A3	0.4	1.5652	1.47	0.13	0.033	1.47	44.247

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 13-4** Isoterma de Langmuir Ensayo 3

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Análisis

El comportamiento del proceso de adsorción según el modelo linealizado de la isoterma de Langmuir se observa en los Gráficos 11-4, 12-4 y 13-4, además se obtienen la constante  $b_L$  para calcular la

favorabilidad de sorción (RL adimensional) resultados que se muestran en la Tabla 18-4, y un coeficiente de correlación de  $r^2 = 0.8911, 0.9223$  y  $0.9498$  para los ensayos 1, 2 y 3. La tendencia lineal de este comportamiento en las condiciones del experimento demuestran que el proceso puede estudiarse utilizando el modelo seleccionado.

#### 4.6.2 Isoterma de Freundlich

La isoterma de Freundlich es un modelo empírico con dos parámetros ajustables que no indica una capacidad de eliminación finita. De acuerdo con esto se determina  $k_F$  que es la constante de equilibrio de Freundlich y  $n$  que es una constante de afinidad entre el adsorbato y el adsorbente, de manera que si  $n > 1$ , la tendencia a la adsorción es elevada a concentraciones bajas de soluto en la disolución.

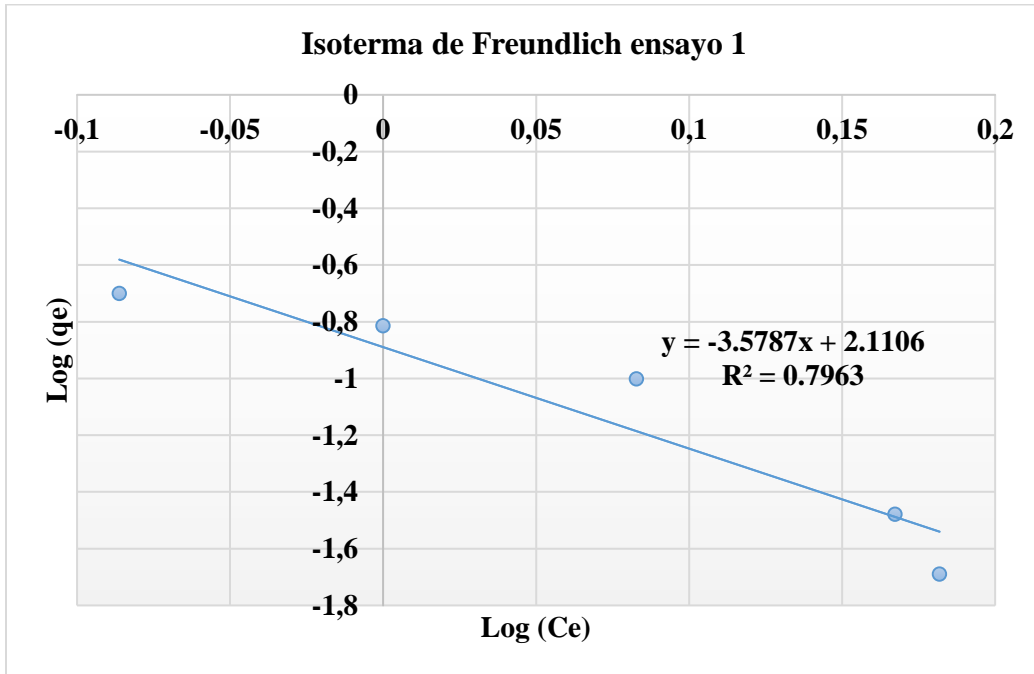
Para el estudio de la isoterma de Freundlich se utilizó la ecuación (3), para ello se calculó los valores de capacidad de adsorción en el equilibrio  $q_e$  (mg/g) y la concentración de soluto presente en la solución en el equilibrio  $C_e$  (mg/L).

#### Ensayo 1

**Tabla 15-4** Valores de Log ( $C_e$ ) y Log ( $q_e$ ) para ensayo 1

Código	V	m	Ce de Cd en (mg/L)	X=Co-Ce	$q_e=(X/m)v$	Log Ce	Log $q_e$
T0A1	0.4	1.5652	1.6	0	0.000	0.20411998	#¡NUM!
T1A1	0.4	1.5652	1.52	0.08	0.020	0.18184358	-1.689419
T2A1	0.4	1.5652	1.47	0.13	0.033	0.16731733	-1.478566
T3A1	0.4	1.5652	1.21	0.39	0.100	0.0827853	-1.001445
T4A1	0.4	1.5652	1	0.6	0.153	0	-0.814358
T5A1	0.4	1.5652	0.82	0.78	0.199	-0.0861861	-0.700415

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 14-4** Isoterma de Freundlich ensayo 1

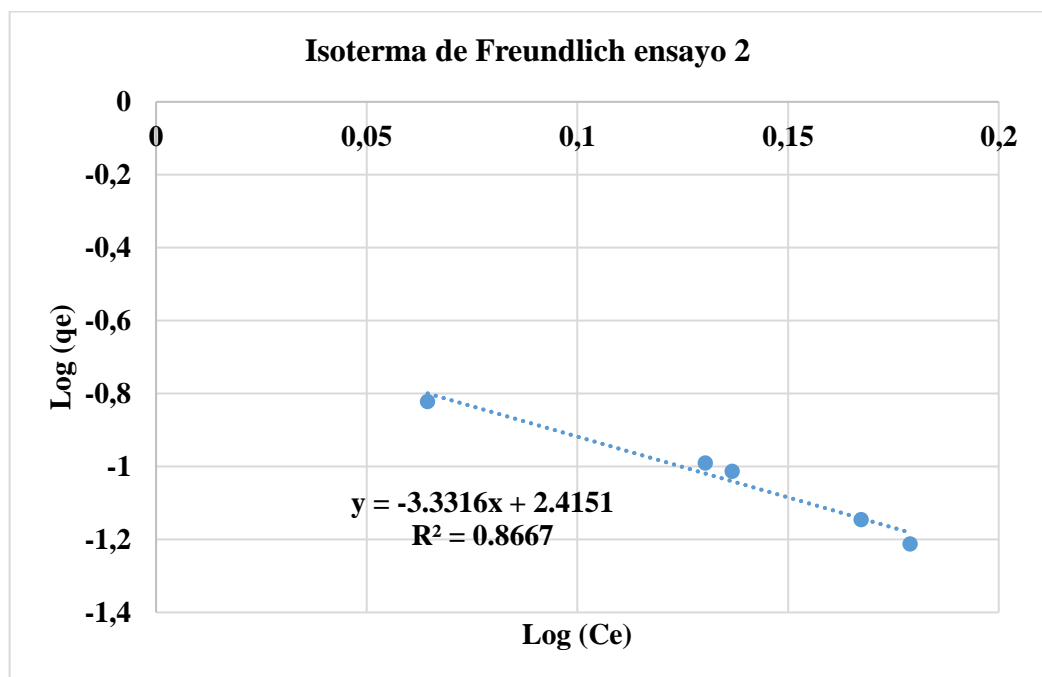
Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

## Ensayo 2

**Tabla 16-4** Valores de Log (Ce) y Log (qe) para ensayo 2

Código	V	m	Ce de Cd en (mg/L)	X=Co-Ce	qe=(X/m)v	Log Ce	Log qe
T0A2	0.4	1.5652	1.6	0.15	0.038	0.20411998	#¡NUM!
T1A2	0.4	1.5652	1.51	0.24	0.061	0.17897695	-1.21229861
T2A2	0.4	1.5652	1.47	0.28	0.072	0.16731733	-1.14535182
T3A2	0.4	1.5652	1.37	0.38	0.097	0.13672057	-1.01272625
T4A2	0.4	1.5652	1.35	0.4	0.102	0.13033377	-0.99044986
T5A2	0.4	1.5652	1.16	0.59	0.151	0.06445799	-0.82165784

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 15-4** Isoterma de Freundlich ensayo 2

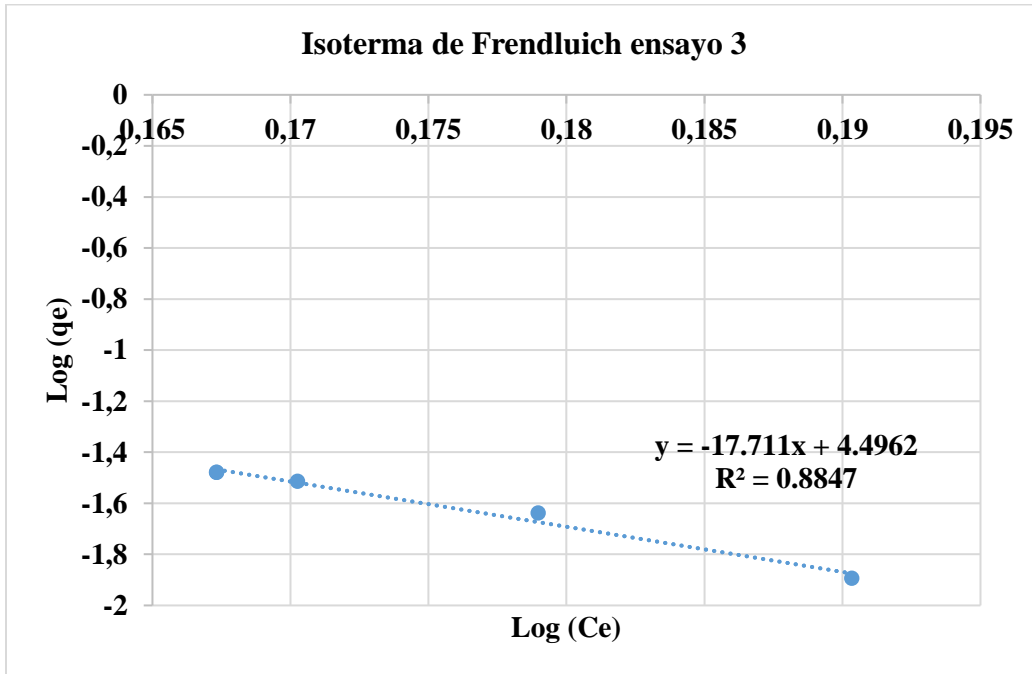
Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Ensayo 3

**Tabla 17-4** Valores de Log(Ce) y Log(qe) para ensayo 3

Código	V	m	Ce de Cd en (mg/L)	X=Co-Ce	qe=(X/m)v	Log Ce	Log qe
T0A2	0.4	1.5652	1.6	0	0.000	0.20411998	#¡NUM!
T1A2	0.4	1.5652	1.55	0.05	0.013	0.1903317	-1.89353984
T2A2	0.4	1.5652	1.51	0.09	0.023	0.17897695	-1.63826734
T3A2	0.4	1.5652	1.48	0.12	0.031	0.17026172	-1.5133286
T4A2	0.4	1.5652	1.47	0.13	0.033	0.16731733	-1.4785665
T5A2	0.4	1.5652	1.47	0.13	0.033	0.16731733	-1.4785665

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021



**Gráfico 16-4** Isoterma de Freundlich ensayo 3

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

### Análisis

El comportamiento del proceso de adsorción según el modelo linealizado de la isoterma de Freundlich se observa en los Gráficos 14-4, 15-4 y 16-4, además se obtienen las constantes de adsorción  $k_f$  y un coeficiente de correlación de 0.7963, 0.8667 y 0.8847 para los ensayos 1, 2 y 3.

**Tabla 18-4** Parámetros cinéticos de la isoterma de adsorción de Langmuir y Freundlich en los 3 ensayos para cadmio

Metal	Ensayos	Langmuir			Freundlich	
		$R_L$	$q_m(\text{mg/g})$	$r^2$	$k_f$	$r^2$
Cd (II)	Ensayo 1	0.022	0.199	0.8911	0.41090222	0.7963
	Ensayo 2	0.97	0.150	0.9223	0.55716158	0.8667
	Ensayo 3	0.99	0.332	0.9498	4.46469097	0.8847

Elaborado por: Escudero, Mayra 2021

## **Análisis y discusión**

La Tabla 18-4 nos resume los parámetros estudiados para los modelos de Langmuir y Freundlich a partir del procesamiento de datos empleando el programa Excel. El coeficiente de correlación lineal  $r^2$  del ajuste al modelo de Langmuir fue 0.94 y de Freundlich fue 0.88. Por lo tanto, el modelo de isoterma de adsorción que mejor se ajustó a nuestro trabajo de investigación fue Langmuir. El resultado obtenido de  $r^2$  en el modelo de Langmuir en nuestra investigación es concordante con los resultados reportados por (Shamsi, y otros, 2017), quienes utilizaron espumas de poliuretano modificadas con ácido bis- [2-etilhexil] fosfórico para adsorber el cadmio y se determinó por los autores un valor para  $r^2 = 0.97$ . También coincide con los resultados reportados por (Zhou, y otros, 2015), quienes utilizaron gel de polisiloxano-óxido un tipo de espuma de poliuretano modificado con grafeno como un adsorbente renovable y altamente eficiente para la eliminación de metales de plomo y cadmio de las aguas residuales, los autores reportan que la correlación lineal para la Isoterma de Langmuir fue  $r^2 = 0.99$ . El estudio de las isotermas de adsorción indicó la afinidad del adsorbato por el adsorbente.

Nuestros resultados obtenidos de la favorabilidad de sorción (RL adimensional), son concordantes con los reportados por (Shamsi, y otros, 2017), donde se utilizó melamina como adsorbente de cadmio y se determinó por estos autores un valor de  $RL=0.98$ .

La capacidad máxima de adsorción obtenida en nuestra investigación fue ( $q_e = 0.199$  mg/g), resultado que se asimila al estudio realizado por (Shamsi, y otros, 2017) quienes reportaron una  $q_e=0.98$  mg/g, estos resultados manifiestan la alta afinidad que presentan la espuma de poliuretano modificada por el metal cadmio, como se reportó en nuestra investigación.

En nuestra investigación se comprobó que las propiedades de adsorción del adsorbente mejoraron significativamente con la adición de nanopartículas de plata para la eliminación metales pesados del agua contaminada. Según (Zlate, y otros, 2013) en su artículo “Modification of multi-wall carbón nanotubes for the removal of cadmium, lead and arsenic from wastewater” afirma que: La modificación química en adsorbentes ofrece una alternativa para la eliminación de metales pesados de aguas contaminadas y protección ambiental.

El artículo:” Removal of cadmium II from aqueous solution and natural wáter simples using polyurethane foamorganobentoniteiron oxide nano composite adsorbent” de (Sayed, y otros, 2017) afirman que: prepararon con éxito un nuevo adsorbente nanocompuesto de espuma de poliuretano / organobentonita / óxido de hierro mediante polimerización in situ de diisocianato de tolueno y polioliol en presencia de 5% en peso de organobentonita / óxido de hierro. La eliminación por adsorción de

cadmio sobre el nanocompuesto alcanzó un contenido máximo de adsorbente de 1,5 g / L, pH 6, y el equilibrio se estableció en 60 min.

Los estudios mencionados confirman que la espuma de poliuretano modificada con diferentes compuestos favorece las condiciones para un mayor porcentaje de remoción de metales pesados en aguas contaminadas.

#### 4.7 Comprobación de Hipótesis general

La espuma de poliuretano como adsorbente reducirá, las concentraciones de cadmio presentes en el agua del Estero El Macho.

#### Prueba de normalidad

**Tabla 19-41** Prueba de normalidad

<b>Pruebas de normalidad</b>						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración final	.299	15	<.001	.789	15	.203
Porcentaje de remoción	.368	15	<.001	.664	15	.091
Tamaño de partícula	.269	15	.005	.776	15	.082
Tiempo de remoción	.153	15	.200*	.902	15	.103
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

En la prueba de normalidad el Nivel de significancia en Shapiro-Wilk es mayor a 0.05, por lo tanto, se aplicará la Prueba paramétrica R Pearson para correlacionar las variables independientes con las variables dependientes.

#### Variable independiente

- Tamaño de partícula de la espuma de poliuretano.



- Tiempo de remoción de cadmio.

#### Variable dependiente

- Concentración final de cadmio
- Porcentaje de remoción de cadmio.

#### 4.7.1 Correlación entre las variables Tamaño de partícula y Concentración final de cadmio

**Tabla 20-4** Correlación entre las variables tamaño de partícula y concentración final de cadmio

Correlaciones			
		Tamaño de partícula	Concentración final
Tamaño de partícula	Correlación de Pearson	1	.552*
	Sig. (bilateral)		.033
	N	15	15
Concentración final	Correlación de Pearson	.552*	1
	Sig. (bilateral)	.033	
	N	15	15

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

El valor del estadístico r de Pearson es de .552 según el (Anexo F) es una correlación media significativa. Por lo que se puede afirmar con un 95% de confianza, que en el ámbito de estudio hay una “Correlación positiva media entre las variables tamaño de partícula y concentración final de cadmio”, porque el valor de Sig. (bilateral) es 0.033 que se encuentra por debajo del 0.05 requerido.

#### 4.7.2 Correlación entre las variables tamaño de partícula y porcentaje de remoción.

**Tabla 21-4** Correlación entre las variables tamaño de partícula y porcentaje de remoción.

<b>Correlaciones</b>			
		Tamaño de partícula	Porcentaje de remoción
Tamaño de partícula	Correlación de Pearson	1	-.138
	Sig. (bilateral)		.035
	N	15	15
Porcentaje de remoción	Correlación de Pearson	-.138	1
	Sig. (bilateral)	.035	
	N	15	15

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

El valor del estadístico r de Pearson es de -.138 según el (Anexo F) es una correlación baja débil. Por lo que se puede afirmar con un 95% de confianza, que en el ámbito de estudio hay una “Correlación negativa débil entre las variables tamaño de partícula y porcentaje de remoción”, porque el valor de Sig. (bilateral) es 0.035 que se encuentra por debajo del 0.05 requerido.

#### 4.7.3 Correlación entre las variables tiempo de remoción de cadmio y concentración final

**Tabla 22-4** Correlación entre las variables Tiempo de remoción de cadmio y porcentaje de remoción.

<b>Correlaciones</b>			
		Tiempo de remoción	Concentración final
Tiempo de remoción	Correlación de Pearson	1	-.653**
	Sig. (bilateral)		.004
	N	15	15
Concentración final	Correlación de Pearson	-.653**	1
	Sig. (bilateral)	.004	
	N	15	15

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

El valor del estadístico r de Pearson es de -.653 según el (Anexo F) es una correlación negativa media. Por lo que se puede afirmar con un 95% de confianza, que en el ámbito de estudio hay una “Correlación negativa media entre las variables tiempo de remoción y concentración final de cadmio”, porque el valor de Sig. (bilateral) es menor a 0.05 requerido. Por lo tanto, a mayor tiempo de remoción expuesta la solución, menor será la concentración final de cadmio.

#### 4.7.4 Correlación entre las variables Tiempo de remoción de cadmio y porcentaje de remoción.

**Tabla 23-4** Correlación entre las variables Tiempo de remoción de cadmio y porcentaje de remoción.

<b>Correlaciones</b>			
		Tiempo de remoción	Porcentaje de remoción
Tiempo de remoción	Correlación de Pearson	1	.809
	Sig. (bilateral)		.003
	N	15	15
Porcentaje de remoción	Correlación de Pearson	.809	1
	Sig. (bilateral)	.003	
	N	15	15

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

El valor del estadístico r de Pearson es de .809 según el (Anexo F) es una correlación positiva considerable. Por lo que se puede afirmar con un 95% de confianza, que en el ámbito de estudio hay una “Correlación positiva considerable entre las variables tiempo de remoción y concentración final de cadmio”, porque el valor de Sig. (bilateral) es menor a 0.05 requerido. Por lo tanto, a mayor tiempo de remoción expuesta la solución, mayor será el porcentaje de remoción,

Después de realizar las pruebas de correlación con el estadístico r de Pearson y teniendo un nivel de confianza de 95% **aceptamos** la Hipótesis general,

*“La espuma de poliuretano como adsorbente si redujo, las concentraciones de cadmio presentes en el agua del Estero El Macho.”*

## CAPÍTULO V

### 5 PROPUESTA DE DISEÑO

#### 5.1 Diseño de la estructura reactor tubular vertical

Para la presente propuesta del reactor tubular vertical se realizó el diseño de forma cilíndrica con flujo continuo, el agua contaminada con cadmio penetra por un extremo del reactor y el agua tratada sale por el otro extremo. La adsorción del metal pesado se realiza a través del material precursor espuma de poliuretano activada con nano partículas de plata, los tubos del reactor están conectados a una bomba para ingresar al reactor. Para diseñar la estructura de soporte para el reactor se tomó en cuenta que esta sea constructivamente simple por lo que se basó en el uso acero inoxidable (Anexo G).

#### 5.2 Cálculos para el diseño del reactor tubular vertical

##### 5.2.1 Diámetro interno del reactor

Para calcular el diámetro interno del reactor se utilizó el caudal del Estero El Macho, según (Zhindón, 2018)  $Q = 1.22 \frac{m^3}{s}$  .

$$\emptyset = \sqrt[2]{\frac{4Q}{v\pi}}$$

$$\emptyset = \sqrt[2]{\frac{4 * 1.22 \text{ m}^3/\text{s}}{0,12\text{m/s} * 3.1416}}$$

$$\emptyset = 3.60 \text{ m}$$

Dónde:

$\emptyset$  = diametro interno del reactor

$Q$  = Caudal

$v$  = velocidad del fluido

### 5.2.2 Volumen del reactor (V)

Para calcular el volumen del reactor tubular vertical se utilizó una longitud de 25 m.

$$v = \frac{\pi \emptyset^2}{4} L$$

$$v = \frac{3.1416 * (3.6\text{m})^2}{4} * 25\text{m}$$

$$v = 254.167\text{m}^3$$

$$v = 254167\text{L}$$

### 5.2.3 Tiempo de retención

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = 5\text{h}$$

$$t = 1800\text{s}$$

### 5.2.4 Gasto del reactor

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{254.167\text{m}^3}{1800\text{s}}$$

$$Q = 0.014\text{m}^3/\text{s}$$

### 5.2.5 Velocidad del fluido

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * \emptyset^2}$$

$$v = \frac{4 * 0.014\text{m}^3/\text{s}}{3.1416 * (3.6\text{m})^2}$$

$$v = 0.0014\text{m}^2/\text{s}$$

### 5.2.6 Número de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{\rho * v * \emptyset}{\mu}$$

$$Re = \frac{1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 3.6\text{m}}{0.00164 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}}$$

$$Re = 4264$$

Dónde:

$\emptyset$  = diámetro interno del reactor

$v$  = velocidad del fluido

$\rho$  = densidad de la mezcla (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = viscosidad absoluta del agua contaminada(kg/ms.)

### 5.2.7 Presión hidrostática

$$Ph = \rho * g * h$$

$$Ph = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \text{m/s}^2 * 25\text{m}$$

$$Ph = 343000 \text{ kPa}$$

Constantes de la ecuación de Antoine para el agua 27<sup>o</sup> C

A	5,11564
B	1.688
C	230,17

### 5.2.8 Presión de la mezcla

$$\log P_v = A - \frac{B}{C + T}$$

$$\log P_v = 5.11564 - \frac{1.688}{230.17 + 27}$$

$$P_v = 1,47 \text{ bar}$$

$$P_v = 14659.7 \text{ kPa}$$

### 5.2.9 Presión de diseño

$$P_{int} = P_h + P_v$$

$$P_{int} = 343000 \text{ kPa} + 146549.9 \text{ kPa}$$

$$P_{int} = 489550 \text{ kPa}$$

### 5.2.10 Cálculo del espesor mínimo del reactor

$$e = \frac{p * d}{2Jf - p}$$

$$e = \frac{489550 * 3.6}{2 * 0.85 * 15.52 - 489550}$$

$$e = 4 \text{ mm}$$

Relación descrita en Sinnott, R. (2005, p.815)

### 5.3 Características del Adsorbente

**Tabla 1-5** Características del Adsorbente

Volumen disponible	254.167m <sup>3</sup>
Tipo de adsorbente	Espuma de poliuretano con nano partículas de plata
Tamaño de partícula de la espuma de poliuretano de forma cúbica	0.5 cm de lado
Mecanismo de rx	Fisorción

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

### 5.4 Datos versión escala del reactor basados en datos experimentales

Concentración de cadmio en el estero = 0.056mg/L

Se asume que por cada 1000 L de agua contaminada existe 0.056 mg de cadmio disuelto de acuerdo con los resultados del laboratorio en el Estero El Macho.

Masa de Cd=56mg (puro)

M Cd=0.056g

#### 5.4.1 Eficiencia en prueba similar para un volumen de 2508376L

$$m_{Cd \text{ in}} = C_{ini} * V_{oper}$$

$$M \text{ de Cd} = \frac{0.056 \text{ mg}}{\text{L}} * 2508376 \text{ L}$$

$$M_{ini} \text{ de Cd} = 142508.376 \text{ mg}$$

$$M_{ini} \text{ de Cd} = 140.47 \text{ g}$$

#### 5.4.2 Concentración final

$$\%R = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100\%$$

$$C_f = C_i - \left( \frac{\%R * C_i}{100\%} \right)$$

$$C_f = 0.056 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \left( \frac{48.75\% * 0.056 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{100\%} \right)$$

$$c_f = 0.0287 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\Delta X = C_i - C_f$$

$$\Delta X = 0.056 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0.0287 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\Delta X = 0.0273 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Masa de Cd retirado} = 68.48 \text{ g}$$

$$\text{Masa de Cd residual} = 71.99 \text{ g}$$

$$\% \text{ de remoción (eficiencia)} = 48.75\%$$

Si para 400ml (0,4L) de agua con cadmio se utilizó 1.5652g de espuma de poliuretano entonces:

$$\frac{\text{caudal a tratar} * \text{espuma usada}}{\text{caudal tratado}} = \text{adsorbente usado}$$

$$\text{Adsorbente usado} = \frac{254167 * 1,5652}{0.4}$$

$$\text{Adsorbente usado} = 994.6 \text{ kg}$$



Se estima que el material adsorbente debe ocupar un 80% del volumen total del reactor dejando un 20% de sedimentación.

$$V \text{ ocupa el material adsorbente} = \frac{254.167 * 80}{100} = 203\text{m}^3$$

La longitud del reactor tubular vertical es 25m, por lo tanto, se estima que la longitud del material adsorbente ocupará un 80% para una mejor eficiencia, esto significa que la longitud del material adsorbente será 20m.

### 5.4.3 Tiempo de tratamiento del reactor

$$\text{Tiempo efectivo del tratamiento} = \frac{V \text{ material adsorbente}}{\text{Caudal de operación}}$$

$$\text{Tiempo efectivo del tratamiento} = \frac{203\text{m}^3}{0.014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$\text{Tiempo efectivo del tratamiento} = 14400\text{s o } 240\text{min}$$

### 5.5 Cálculo de bomba para prueba industrial

Basado en el tiempo en que el adsorbente se satura para un tiempo determinado, se toma en cuenta el volumen de muestra sobre el tiempo de saturación de la espuma de poliuretano. Modelo de bomba (Anexo G)

$$Q_{(\text{bomba})} = \frac{V}{\text{tefec tra}}$$

$$Q_{(\text{bomba})} = \frac{203\text{m}^3}{240\text{min}}$$

$$Q_{(\text{bomba})} = 0.846 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

**Tabla 2-5** Parámetros de validación para el reactor tubular horizontal

<b>Parámetros de validación para el reactor tubular horizontal</b>						
			<b>Parámetros fisicoquímicos</b>			
<b>Tiempo de retención hidráulica</b>	<b>Longitud de la zona de adsorción.</b>	<b>Capacidad de carga máxima</b>	<b>Oxígeno disuelto (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidez NTU</b>	<b>Ce <math>\mu\text{s/cm}</math></b>
300 min	20 m	254.167m <sup>3</sup>	1.90	8	11	0.1

**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

## CONCLUSIONES

1. Se identificaron los puntos de muestreo en el estero “El Macho” de la ciudad de Machala, para conocer las concentraciones iniciales de cadmio mediante la espectroscopia de absorción atómica, obteniendo como resultado concentraciones de Cd (II) de P1=0.059 mg/L, P2=0.047 mg/L y P3=0.062 mg/L, las cuales están fuera de los límites permisibles, por lo tanto, no cumple con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA.
2. Las variables de diseño que mejor se ajustaron para remover una mayor cantidad del metal fueron: Temperatura 27 C, pH 8, Tiempo de remoción 300 min, Tamaño de la espuma de poliuretano de poliuretano de forma cubica 0.5 cm de lado, masa de adsorbente 1.5652 g. Logrando un porcentaje de remoción del 48.75%.
3. Se realizó el diseño y dimensionamiento de un reactor tubular vertical relleno de espuma de poliuretano con nanopartículas de plata, para la remoción de cadmio en las aguas del Estero El Macho a escala industrial.
4. Se validaron los parámetros del reactor tubular vertical a través de: tiempo de retención hidráulica 300 min, longitud de la zona de adsorción 20 m, capacidad de carga máxima 254.167m<sup>3</sup> y parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto=1.90, pH=8, turbidez=11, conductividad=0.1) del agua del estero El Macho.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más estudios de investigación en la adsorción de otros metales pesados u otros contaminantes utilizando espuma de poliuretano modificada con nanopartículas de plata, para verificar la afinidad de este adsorbente con otros adsorbatos.
2. Consideramos necesario ampliar el estudio de adsorción, empleando la espuma de poliuretano activada con nanopartículas de plata como adsorbente, para aumentar el porcentaje de adsorción de contaminantes, utilizando parámetros diferentes a los utilizados en nuestra investigación.
3. Se recomienda realizar un estudio con mayor profundidad para determinar el efecto de las condiciones de operación del reactor tubular vertical en la viabilidad de la adsorción de Cd (II) utilizando espuma de poliuretano modificada con nanopartículas de plata, con la finalidad de mejorar el porcentaje de adsorción de cadmio y otros metales pesados.

## GLOSARIO

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
$q_e$	Capacidad de adsorción del adsorbato en el equilibrio	mg/g
$C_o$	Concentración inicial del adsorbato	mg/L
$C_e$	Concentración del adsorbato en el equilibrio	mg/L
$bL$	Constante de la isoterma de Langmuir	L/mg
$RL$	Favorabilidad de sorción de la isoterma de Langmuir	
$KF$	Constante de la isoterma de Freundlich	$mg^{1-\frac{1}{n}} * L^{\frac{1}{n}} * g^{-1}$
$1/n$	Medida de intensidad de adsorción de la isoterma de Freundlich	

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, A., & Carrión, V. (2018). “*Plan de manejo para la recuperación ambiental del estero El Macho, cantón Machala*”. Recuperado el 2018, de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30874/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>
- Amézquita, E. (2018). Remoción de Cadmio Bivalente Cd mediante bioadsorción en un sistema de flujo continuo empacado en biomasa muerta e inmovilizada. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5344/BIamimee.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Andrade, A., & Carrión, W. (2018). Plan de manejo para recuperacion ambiental del estero El Macho, cantón Machala. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30874/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>
- Belaire, C., & Jacobs, B. (2017). *TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON PLOMO (II) MEDIANTE UN TÉCNICA EN CONTINUO DE BIOADSORCIÓN EN COLUMNA DE CORCHO*. Obtenido de [https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2017/190174/TFG\\_BelaireJacobs.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2017/190174/TFG_BelaireJacobs.pdf)
- Bermejo, D. (2016). Remoción de plomo y cadmio presente en aguas residuales mineras mediante biosorción en columnas con bagazo de caña y cascara de cacao. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25710/1/Tesis.pdf>
- Caviedes, D., Muñoz, A., Perdomo, A., Rodríguez, D., & ISandoval, J. (2015). *Treatments for Removal of Heavy Metals Commonly Found in Industrial Wastewater. A Review*. Recuperado el 16 de Mayo de 2015, de <file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/Dialnet-TratamientosParaLaRemocionDeMetalesPesadosComunmen-5432290.pdf>
- Córdova, S., & Escudero, M. (2018). “*Evaluación de patógenos de aguas residuales de 2 unidades hospitalarias de la coordinación zonal 3 salud*”. Obtenido de <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/8931/1/236T0331.pdf>
- ELIKA. (2014). Ficha de Cadmio. *Elika*. Obtenido de [http://www.elika.net/datos/pdfs\\_agrupados/Documento146/25Cadmio\\_act.pdf](http://www.elika.net/datos/pdfs_agrupados/Documento146/25Cadmio_act.pdf)

- Gallardo, Y., & Moreno, A. (2014). Recolección de la información. En *Aprender a Investigar Vol 3* (pág. 152). Colombia: In A. Editores.
- Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (2012). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *15(1)*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047399003.pdf>
- García, N., Villanueva, P., Campos, E., & Velázquez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas. *14(1)*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894007.pdf>
- González, M., & Rivada, M. (2016). Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante. *10(2)*. Recuperado el 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193946969001.pdf>
- GouldsPumps. (2020). Guía para la selección de bombas centrifugas. Recuperado el 2021, de [www.gouldspumps.com](http://www.gouldspumps.com)
- Green Facts. (2021). *Partes por millón*. Obtenido de <https://www.greenfacts.org/es/glosario/pqrs/partes-million.htm>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2016). Metodología de la Investigación. 6. Recuperado el Septiembre de 2021, de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huamaní, J., & Huamolle, A. (2017). Remoción de cadmio en soluciones acuosas usando nanopartículas de hierro cerovalente sobre una matriz de quitosato. Obtenido de [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6147/Huamani\\_aj.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6147/Huamani_aj.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Instituto de toxicología de la defensa. (2016). Protocolo de toma de muestras de agua residual. Obtenido de [https://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO\\_DE\\_TOMA\\_DE\\_MUESTRAS\\_DE\\_AGUA\\_RESIDUAL\\_ver\\_2.pdf](https://www.defensa.gob.es/itoxdef/Galerias/documentacion/protocolos/ficheros/PROTOCOLO_DE_TOMA_DE_MUESTRAS_DE_AGUA_RESIDUAL_ver_2.pdf)
- LENNTECH. (2021). Propiedades químicas del cadmio. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm#:~:text=El%20Cadmio%20se%20acumula%20en,sea%20excretado%20del%20cuerpo%20humano.>

- Londoño, L., & Londoño, P. (Diciembre de 2016). *Scielo*, 14(2), 145-153. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- López, J. (2015). “ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CANAL EL MACHO DE LA CIUDAD DE MACHALA”. Recuperado el Febrero de 2015, de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1563/7/CD00061.pdf>
- Martínez, J. (2011). Métodos de investigación cualitativa. En *Métodos de investigación cualitativa* (pág. 34). Silogismo 8.
- Ministerio del Ambiente. (2016). Estrategia nacional de calidad del agua. Obtenido de [https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua\\_2016-2030.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf)
- Moctezuma, M. (2007). Bioadsorción de Cadmio (II) en Solución Acuosa por Biomásas Fúngicas. 18(1). Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642007000100003](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642007000100003)
- Monroy, Y. (2019). *Remoción de plomo pb (ii) de soluciones acuosas y aguas residuales de mina, por adsorción, floculación – sedimentación de flujo ascendente batch utilizando chacko (hidralgirita) y cal (cao)*. Recuperado el 2019, de [file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/Monroy\\_Quispe\\_Rubi\\_Yessenia%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/MAYRA/Downloads/Monroy_Quispe_Rubi_Yessenia%20(2).pdf)
- Obregón, D. (2012). Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de Cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguje y acetuna. Recuperado el 2021, de <https://core.ac.uk/download/pdf/196533184.pdf>
- Olivares, F., Aranda, C., & Bustamante, R. (2008). *Scielo*, 79(4), 373-380. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-41062008000400004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062008000400004)
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización ambiental de aguas residuales. I, I. Obtenido de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827#:~:text=Son%20aquellas%20aguas%20cuyas%20caracter%20C3%ADsticas,descargadas%20al%20sistema%20de%20alcantarillado.](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=Son%20aquellas%20aguas%20cuyas%20caracter%20C3%ADsticas,descargadas%20al%20sistema%20de%20alcantarillado.)
- Organización Mundial de la Salud. (2021). Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. Obtenido de [https://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/cadmium/es/](https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/cadmium/es/)



- Ortiz, J. (2017). Ecotoxicología del cadmio, riesgos para la salud por la utilización de suelos ricos en cadmio. Obtenido de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/JAVIER%20ORTIZ%20SANCHEZ.pdf>
- Ramirez, A. (2017). *Determinación del cadmio y plomo en agua y sedimento del estero el Macho de la ciudad de Machala.* Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18532/1/TESIS%20RAMIREZ%2c%20A.pdf>
- Ramírez, M. (2016). Conceptos elementales de mecánica. Obtenido de [http://www.fiumsa.edu.bo/docentes/mramirez/capitulo\\_II.pdf](http://www.fiumsa.edu.bo/docentes/mramirez/capitulo_II.pdf)
- Rodríguez, R. (2017). Fundamentos de química general. Obtenido de [https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4271/1/Fundamentos%20de%20Quimica%20General\\_Disoluciones%2C%20propiedades%20coligativas%20y%20gases%20ideales.pdf](https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4271/1/Fundamentos%20de%20Quimica%20General_Disoluciones%2C%20propiedades%20coligativas%20y%20gases%20ideales.pdf)
- Sáenz, A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *20(3)*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>
- Sayed, M., & Burham, N. (2017). Eliminación de cadmio (II) de una solución acuosa y muestras de agua natural utilizando un adsorbente nanocompuesto de espuma de poliuretano / organobentonita / óxido de hierro. *15(17)*. Recuperado el 2021, de [https://www.researchgate.net/publication/318136576\\_Removal\\_of\\_cadmium\\_II\\_from\\_aqueous\\_solution\\_and\\_natural\\_water\\_samples\\_using\\_polyurethane\\_foamorganobentoniteiron\\_oxide\\_nanocomposite\\_adsorbent](https://www.researchgate.net/publication/318136576_Removal_of_cadmium_II_from_aqueous_solution_and_natural_water_samples_using_polyurethane_foamorganobentoniteiron_oxide_nanocomposite_adsorbent)
- Shamsi, Z., & Reza, M. (2017). *Journal of Human, Environmet and Health Promotion*, *3(1)*, 28-37. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Wastewater\\_Treatment\\_by\\_Using\\_Polyurethane\\_Foams\\_M.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Wastewater_Treatment_by_Using_Polyurethane_Foams_M.pdf)
- State Water Resources Control Board. (2016). *Folleto informativo pH*. Obtenido de [https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf)
- Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2014). *Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials*. Recuperado el 10 de junio de 2014, de Dialnet- [AdsorcionDeMetalesPesadosEnAguasResidualesUsandoMa-5062883%20\(4\).pdf](https://www.dialnet.org/urn/urn:csic:es-SI:art-2014-062883)

- Tejada, C. (2015). *Tecno Lógicas*, 18(34). Obtenido de file:///C:/Users/natys/Downloads/Dialnet-AdsorcionDeMetalesPesadosEnAguasResidualesUsandoMa-5062883%20(1).pdf
- Tejada, C. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *18(34)*. Obtenido de file:///C:/Users/natys/Downloads/Dialnet-AdsorcionDeMetalesPesadosEnAguasResidualesUsandoMa-5062883%20(1).pdf
- Unac. (2011). *Reactor de tanque agitado continuo*. Obtenido de [https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Investigacion/Enero\\_2011/BENITES\\_SARAVIA\\_FIEE/INFORME.PDF](https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Enero_2011/BENITES_SARAVIA_FIEE/INFORME.PDF)
- Vaca, A. (2018). Biorremediación del agua contaminada con cadmio empleando la técnica de biosorción con tres especies de microalgas. *1(1)*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/29594/1/TESIS%20VACA%20SANDOYA.pdf>
- Vigo, J. (2020). Remoción de Arsénico con biomasas orgánicas. Obtenido de [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/3313/Jose\\_Trabajo\\_Bachiller\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/3313/Jose_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Zhindón, R. (2018). *UTMACH*, 2(1). Obtenido de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/277/226>
- Zhindón, R. (2018). Evaluación ambiental de aguas residuales: estero y manglar El Macho de la ciudad de Machala. *2(1)*. Obtenido de <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/277/226>
- Zhou, G., Chengbin, L., & Shenglian, L. (2015). Sponge-like polysiloxane-graphene oxide gel as a highly efficient and renewable adsorbent for lead and cadmium metals removal from wastewater.
- Ziegler, K. (2013). Activación de espuma de Poliuretano con nanopartículas de Ag y evaluación de sus propiedades catalíticas. Obtenido de file:///C:/Users/natys/Downloads/TFM\_KharlaZieglerBenitez%20(2).pdf
- Zlate, V., & Zoran, B. (2013). "Modification of multi-wall carbon nanotubes for the removal of cadmium, lead and arsenic from wastewater". *8(2)*. Obtenido de file:///C:/Users/natys/Downloads/501\_VELICKOVIC.pdf

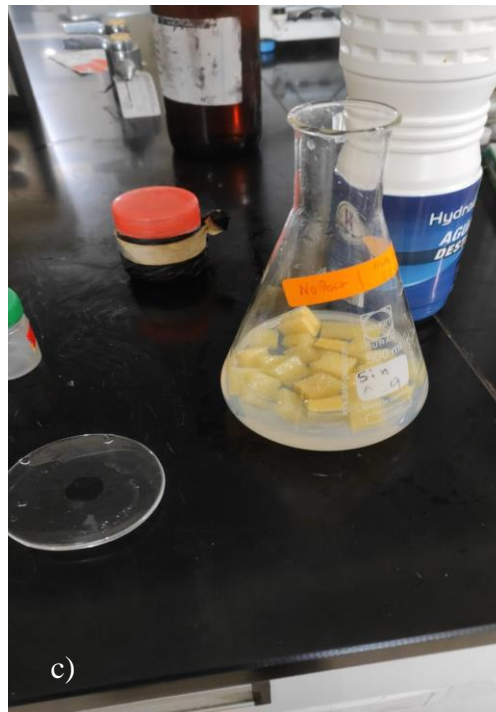
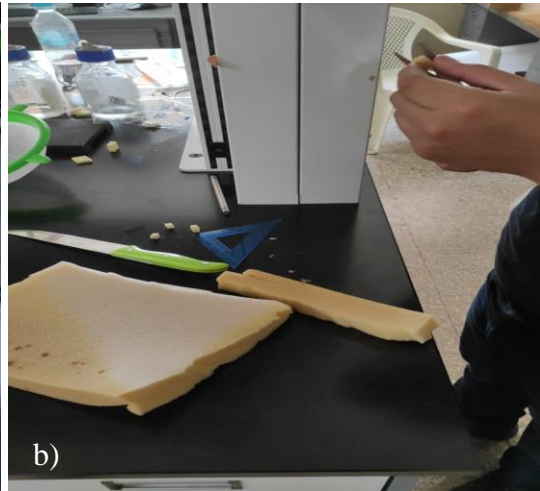
## ANEXOS

### Anexo A: Estero El Macho



**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021.

**Anexo B:** Espuma de poliuretano con un tamaño de partícula de forma cúbica de a) 0.05 cm, b) 1.00 cm y c) 2.00 cm de lado



**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

**Anexo C: Proceso de Pretratamiento de la espuma de poliuretano**

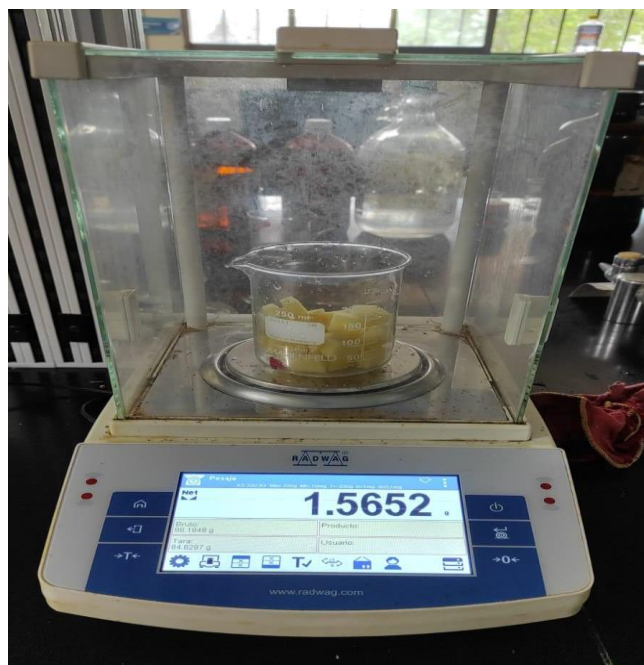


**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021



**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

**Anexo D: Masa de adsorbente**



**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

**Anexo E:** Reactor tubular conectado a una bomba peristáltica



**Elaborado por:** Escudero, Mayra 2021

**Anexo F:** Interpretación: el coeficiente  $r$  de Pearson puede variar de  $-1.00$  a  $+1.00$ .

Nivel de medición de las variables: intervalos o razón. Interpretación: el coeficiente  $r$  de Pearson puede variar de  $-1.00$  a  $+1.00$ , donde:

$-1.00$  = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante). Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

$-0.90$  = Correlación negativa muy fuerte.

$-0.75$  = Correlación negativa considerable.

$-0.50$  = Correlación negativa media.

$-0.25$  = Correlación negativa débil.

$-0.10$  = Correlación negativa muy débil.

$1.0$  = No existe correlación alguna entre las variables.

$+0.10$  = Correlación positiva muy débil.

$+0.25$  = Correlación positiva débil.

$+0.50$  = Correlación positiva media.

$+0.75$  = Correlación positiva considerable.

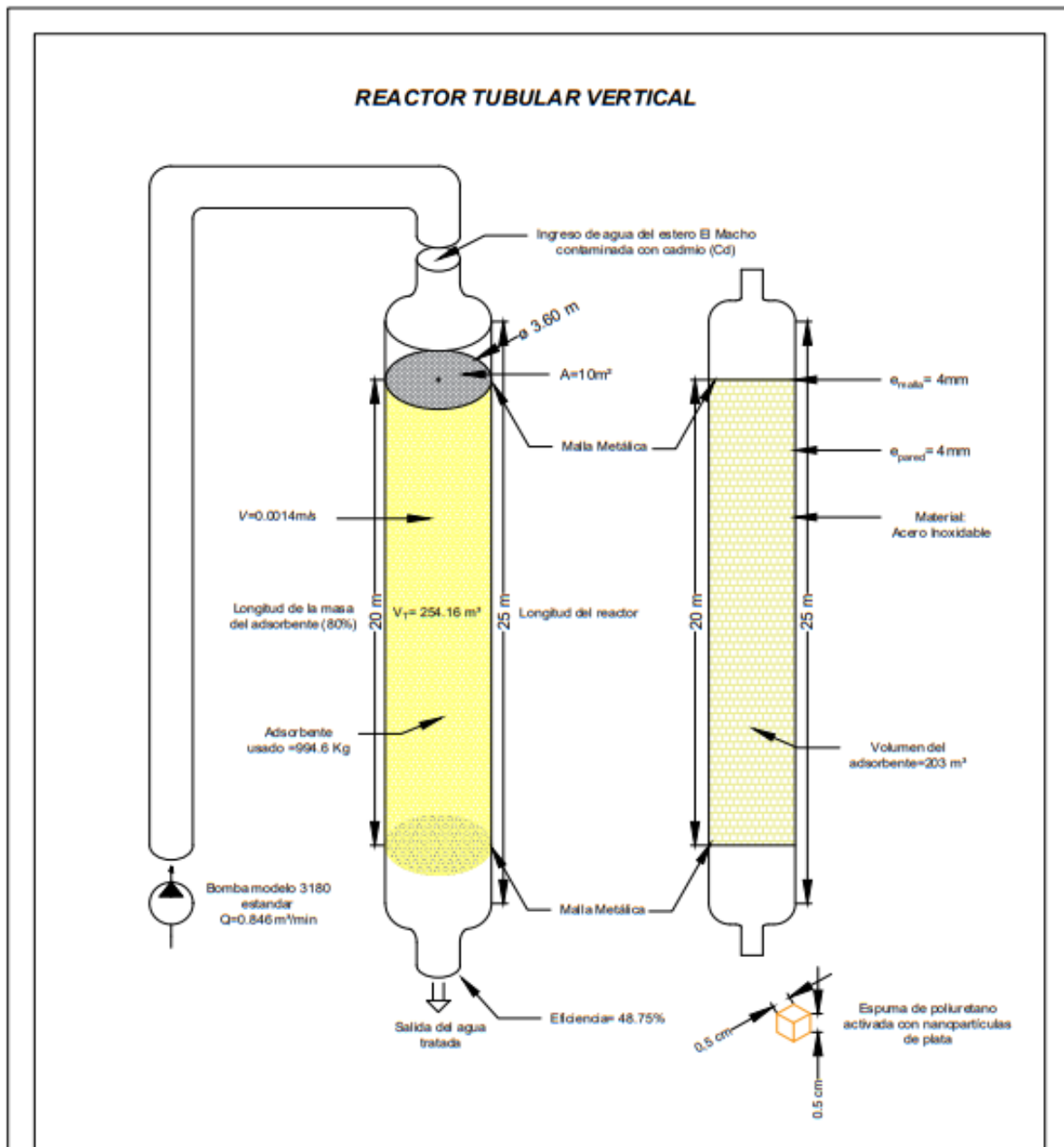
$+0.90$  = Correlación positiva muy fuerte.

$+1.00$  = Correlación positiva perfecta (“A mayor X, mayor Y” o “a menor X, menor Y”, de manera proporcional. Cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante).

**Fuente:** (Hernández, y otros, 2016)



**Anexo G: Diseño reactor tubular vertical para remoción de cadmio de las aguas del estero El Macho**



<b>PROYECTO:</b>  DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO PRESENTE EN LAS AGUAS DEL ESTERO EL MACHO EN LA CIUDAD DE MACHALA UTILIZANDO ESPUMA DE POLIURETANO COMO ADSORBENTE	<b>TEMA:</b> DISEÑO DEL REACTOR TUBULAR HORIZONTAL		
	<b>AUTORA:</b> MAYRA VERÓNICA ESCUDERO VILEMA		
<b>INSTITUCIÓN:</b> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	<b>ESCALA:</b> 1:100	<b>FECHA:</b> 20/10/2021	<b>N° LÁMINA:</b> 01

**Anexo H:** Modelo 3180 estándar con bridas ANSI.

Se consideraron todos los requerimientos de los parámetros del diseño del reactor tubular horizontal para elegir la bomba que tenga una excelente cobertura hidráulica, alta eficiencia, facilidad extrema de mantenimiento y confiabilidad mecánica. Por estas razones se escogió la Bomba modelo 3180 estándar con bridas ANSI.

- Capacidad hasta 9000 m<sup>3</sup>/h | (40.000 GPM)
- Cargas hasta 125 m (410 pies)
- Temperaturas hasta 230° C (446° F)
- Presión hasta 16 bar (232 PSIG)

Aplicaciones:

- Aguas residuales

Materiales: AI/CD4MCuN, CD4MCuN, 316SS, 317SS, Hast-C, aleación 20, Súper dúplex. Otros materiales disponibles a pedido.



Bomba para el reactor tubular vertical

**Fuente:** (GouldsPumps, 2020)

## RESUMEN

Se realizó el diseño de un proceso para la remoción de cadmio presente en las aguas del Estero El Macho en la ciudad de Machala utilizando espuma de poliuretano como adsorbente. La investigación fue experimental de tipo longitudinal con un enfoque de carácter científico, donde las variables concentración final y porcentaje de remoción fueron medibles o manipulables como sujeto del experimento. Se cuantificó las concentraciones de cadmio mediante absorción atómica en las aguas del estero identificando tres puntos de muestreo. Para la adsorción de cadmio de las aguas contaminadas del estero se trabajó con la espuma de poliuretano modificada con nanopartículas de plata. Los resultados evidenciaron un porcentaje de adsorción de cadmio de 48.75% de la cantidad inicial de iones estudiados (1.6 mg / L). Utilizando 1.56 g de adsorbente de poliuretano modificado con nanopartículas de plata a pH 8, con tamaño de la espuma de poliuretano de poliuretano de forma cubica 0.5 cm de lado. Para el análisis de los datos de adsorción de equilibrio se utilizó los modelos de Langmuir y Freundlich que revelaron que el modelo de Langmuir fue muy adecuado para describir la adsorción de iones cadmio. Y se propuso el diseño de un reactor tubular vertical a escala industrial. Por lo tanto, se concluye que la espuma de poliuretano activada con nanopartículas de plata es efectiva para el tratamiento de aguas contaminadas con cadmio.

**Palabras claves:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <AGUA RESIDUAL>, <ESPUMA DE POLIURETANO>, <CADMIO (Cd)>, <ADSORBENTE>, <NANOPARTÍCULAS>.

LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS ALBERTO CAMINOS VARGAS  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=EC, o=INGENIERIA, ou=UNIVERSIDAD DEL ROSARIO, cn=LUIS ALBERTO CAMINOS VARGAS  
Fecha: 2022.04.18 15:47:04 -05'00'



0027-DBRA-UPT-IPEC-2022

De: Andrea Sofia Ribadeneria Vacacela <[andrea.ribadeneira@esPOCH.edu.ec](mailto:andrea.ribadeneira@esPOCH.edu.ec)>  
Enviado: miércoles, 20 de abril de 2022 10:15  
Para: Centro de Idiomas <[idiomas@esPOCH.edu.ec](mailto:idiomas@esPOCH.edu.ec)>; Verónica Escudero <[maysita8@hotmail.com](mailto:maysita8@hotmail.com)>  
Asunto: Re: Traducción del Resumen del Proyecto de Investigación

Estimada señorita estudiante,  
Ing. Verónica Escudero,

Con un saludo cordial, le hago llegar el abstract de su trabajo investigativo. Hay dos partes de párrafo que se han sacado ya que no son necesarias y esta escrito en ingles exactamente lo que Usted debe dar a conocer de su investigación en ingles dentro de un abstract.  
Le felicito por encontrarse en esta etapa final y le auguro muchos mas éxitos.

Warm regards,

M.T.E.F.L. Andrea Sofia Ribadeneira V.  
ENGLISH TEACHER  
CENTRO DE IDIOMAS MODALIDAD EXTENSIÓN  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
Celular # +593 987727600  
Correo Electrónico: [andrea.ribadeneira@esPOCH.edu.ec](mailto:andrea.ribadeneira@esPOCH.edu.ec)

---

From: Centro de Idiomas <[idiomas@esPOCH.edu.ec](mailto:idiomas@esPOCH.edu.ec)>  
Sent: Tuesday, April 19, 2022 12:53 PM  
To: Andrea Sofia Ribadeneria Vacacela <[andrea.ribadeneira@esPOCH.edu.ec](mailto:andrea.ribadeneira@esPOCH.edu.ec)>  
Subject: RV: Traducción del Resumen del Proyecto de Investigación

Saludos cordiales,



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 28 / 04 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Maya Verónica Escudero Vilema</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
Instituto de Posgrado y Educación Continua
<b>Título a optar:</b> <i>Magíster en Ingeniería Química Aplicada</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.

LUIS  
ALBERTO  
CAMINO  
S  
VARGAS

Firmado digitalmente  
por LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS  
Nombre de  
reconocimiento (DN):  
c=EC, j=RIOBAMBA,  
serialNumber=060276  
6974, cn=LUIS  
ALBERTO CAMINOS  
VARGAS  
Fecha: 2022.04.28  
10:18:05 -05'00'



0027-DBRA-UPT-IPEC-2022