

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO CON
Eichhornia crassipes EN EL AGUA PROVENIENTE DE
INDUSTRIAS METALÚRGICAS, EN SAN MATEO DE
HUAROCHIRÍ”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

INCA RAMOS, FLOR MARÍA

Villa El Salvador

2020

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por ser mi guía, mi luz y fortaleza que me motiva a no detenerme y seguir logrando todo lo que me propongo.

A mis padres Tania y Roberto por su gran cariño y ser soporte de mi vida, por estar siempre apoyándome, por ser los mejores padres del mundo, por enseñarme desde pequeña a no desistir a pesar de que la vida nos ponga muchos obstáculos, a superarlos y ser mejor día a día.

A mi hermano Brayan, por enseñarme a luchar y seguir adelante, superar cada obstáculo que se presenta en la vida con una gran sonrisa y con gran perseverancia.

A mis mejores amigos Katherine, Luis, Roberto, Jhoel y Jhoan, por ser grandes soportes durante la etapa universitaria, por sus consejos, su cariño y confianza.

A mis docentes universitarios, por compartir sus conocimientos, absolver mis dudas y brindarme el apoyo para culminar mi trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Agradecer a mis padres: Roberto Inca y Tania Ramos; por ser los que me apoyaron a cumplir mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado. Y de igual manera agradecer a mi hermano Brayan por ser mi motivación de querer ser mejor día tras día.

Agradezco a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, a mis profesores Agérico Pantoja, Edgar Marcelino, Luis Gamarra, Luis Zuñiga, por su gran dedicación y consejos durante mi etapa universitaria.

De manera especial al Ph. D. Robert Richard Rafael Rutte quien fue mi asesor en este trabajo de suficiencia profesional, por haberme guiado con su paciencia, y su rectitud como docente. Asimismo, agradecer a la Asistente del laboratorio de Química Ambiental Jenny Benites y al personal de la UNTELS por su paciencia y tiempo brindado para la realización de la parte experimental del presente trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	XI
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
CAPITULO II MARCO TEORICO	4
2.1 ANTECEDENTES	4
2.1.1 <i>Antecedentes Internacionales</i>	4
2.1.2 <i>Antecedentes Nacionales</i>	5
2.2 BASES TEORICAS	6
2.2.1 <i>El agua</i>	6
a. Contaminación del recurso hídrico en América Latina.....	7
b. Contaminación del agua	7
2.2.2 <i>Tipos de movimientos de los contaminantes en el medio acuático</i>	8
a. Advección	9
b. Dispersión - difusión	9
c. Reacción.....	11
d. Sumideros.....	11
2.2.3 <i>Calidad del agua</i>	12
a. Índice de calidad de agua	12
b. Monitoreo de la calidad del agua	12
2.2.4 <i>Parámetros a analizar en las aguas residuales</i>	12
a. Color y olor.....	13
b. Sólidos totales.....	13
a. pH	13
b. Oxígeno Disuelto	14
2.2.5 <i>San Mateo de Huanchor</i>	14
a. Problemática ambiental de San Mateo de Huanchor.....	14

2.2.6	<i>Metales pesados</i>	15
a.	Contaminación de metales pesados	16
2.2.7	<i>El Cadmio</i>	16
a.	Efectos del cadmio en la salud	17
2.2.8	<i>Eichhornia crassipes</i>	19
a.	Taxonomía	19
b.	Morfología	20
c.	Hábitat.....	21
d.	Reproducción.....	21
e.	Crecimiento.....	22
f.	Efecto de <i>E. crassipes</i> en fuentes naturales de agua	22
g.	Función de las macrófitas	23
2.2.9	<i>Composición de la biomasa seca de E. crassipes</i>	23
a.	Propiedades físicas.....	23
b.	Comportamiento térmico.....	24
c.	Composición química.....	25
2.2.10	<i>Potencial de adsorción y absorción de contaminantes de la E. crassipes</i>	26
2.2.11	<i>Reacción química de la absorción del cadmio con el uso de la Eichhornia crassipes</i>	27
2.2.12	<i>Tratamiento empleado</i>	30
a.	Tratamiento terciario	30
b.	Adsorción en el tratamiento de aguas para la remoción de <i>E. crassipes</i>	31
2.3	BASES LEGALES	31
2.3.1	<i>Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)</i>	32
2.3.2	<i>Ley General de Aguas (Ley N° 17752)</i>	33
2.3.3	<i>Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)</i>	33
2.3.4	<i>Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Agua</i>	33
2.4	MARCO CONCEPTUAL.....	35
CAPITULO III METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL		36
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	36

3.2	DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	40
3.3	MATERIALES Y EQUIPOS	42
3.3.1	<i>Materiales de laboratorios</i>	42
3.3.2	<i>Materiales de campo</i>	42
3.3.3	<i>Reactivos.....</i>	42
3.3.4	<i>Equipos de laboratorio.....</i>	42
3.4	VARIABLES	43
3.4.1	<i>Variable independiente</i>	43
3.4.2	<i>Variable dependiente.....</i>	43
3.5	METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO	43
3.5.1	<i>Obtención del material seco y triturado (Eichhornia crassipes).....</i>	43
3.5.2	<i>Obtención de la muestra de agua a tratar</i>	47
3.5.3	<i>Análisis de la concentración inicial de cadmio en el agua muestreada.....</i>	50
3.5.4	<i>Tratamiento del agua contaminada con cadmio con el uso de la Eichhornia crassipes en seco</i>	51
3.5.5	<i>Análisis final de la concentración de cadmio</i>	57
	RESULTADOS.....	58
4.1	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	58
4.1.1	<i>Comportamiento del pH en la reducción de concentración de cadmio.....</i>	58
4.1.2	<i>Concentración de Cadmio</i>	59
4.2	RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LA <i>E. CRASSIPES</i> EN SECO CON LA REDUCCIÓN DE CADMIO.....	61
4.2.1	<i>Regresión de superficie de respuesta: % de adsorción vs. Concentración de E. crassipes; Tiempo de agitación</i>	61
4.2.2	<i>Coeficientes de regresión estimados de % de adsorción de Cadmio utilizando datos en unidades sin codificar.....</i>	63
4.3	EFICIENCIA EN LA REDUCCIÓN DE CADMIO CON EL USO DE LA <i>E. CRASSIPES</i> EN SECO	65
	DISCUSIÓN	70
	CONCLUSIONES	72

RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>Eichhornia crassipes</i>	19
Tabla 2. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de montañas	34
Tabla 3. Tratamientos evaluados	52
Tabla 4. Valores de concentración de Cadmio finales	60
Tabla 5. Coeficientes de regresión estimados de % de adsorción de Cadmio....	61
Tabla 6. Análisis de varianza del % de adsorción de Cadmio	62
Tabla 7. Coeficientes de regresión estimados de % de adsorción de Cadmio....	63
Tabla 8. Optimización de respuesta del Máximo	65
Tabla 9. Optimización de respuesta del Mínimo.....	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Se describe el cambio en la concentración producto del transporte advectivo de una sustancia o contaminante en el cuerpo de agua.	9
Figura 2. Compartimientos a diferentes temperaturas, conectados por un orificio y con agua al mismo nivel de altura, la temperatura se va a nivelar en los dos comportamientos así no se dé el paso de agua por parte de los dos.	10
Figura 3. Proceso de difusión del contaminante o sustancia	10
Figura 4. Proceso de dispersión del contaminante o sustancia.....	11
Figura 5. Morfología de Jacinto de agua (<i>E. crassipes</i>)	21
Figura 6. Vista en micrografías SEM del material triturado seco de <i>Eichhornia crassipes</i> , corte transversal A) 1mm y B) 50µm.....	24
Figura 7. Termograma de la planta <i>E. crassipes</i> seca y triturada.	25
Figura 8. Espectro infrarrojo del material seco	26
Figura 9. Interacción de los metales pesados con las plantas.	28
Figura 10. Interacción con los iones de cadmio.	30
Figura 11. Ubicación de la Zona de Estudio.....	37
Figura 12. Ubicación del lugar de Experimentación	38
Figura 13. Ubicación del lugar de Análisis en Laboratorio	39
Figura 14. Flujo grama de modelo de solución propuesto.....	43
Figura 15. Recolección de las plantas <i>Eichhornia crassipes</i>	44
Figura 16. Drenado estático de las plantas <i>Eichhornia crassipes</i> a temperatura ambiente.....	44
Figura 17. Colocación en papel aluminio de las plantas picadas de <i>Eichhornia crassipes</i> drenadas	45
Figura 18. Colocación de las muestras en la estufa.....	45
Figura 19. Retiro de <i>E. crassipes</i> seca de la estufa	46
Figura 20. Molido de <i>E. crassipes</i> seca.....	46

Figura 21. Vista a la ribera del río Rímac	47
Figura 22. Zonas de acceso al lugar de monitoreo	48
Figura 23. Elección del punto de monitoreo	48
Figura 24. Indumentaria de protección personal en campo	49
Figura 25. Monitoreo de agua del río Rímac	50
Figura 26. Rotulación de la muestra.....	50
Figura 27. Medición del pH de la muestra antes de realizar el tratamiento	51
Figura 28. Pesaje de <i>E. crassipes</i> en la balanza analítica	53
Figura 29. Colocación de la pastilla magnética y agua de río en el vaso precipitado.....	53
Figura 30. Agitación magnética de los 9 tratamientos evaluados.....	54
Figura 31. Filtración de los 9 tratamientos evaluados.	55
Figura 32. Medición del pH de los tratamientos evaluados.	56
Figura 33. Llenado al envase y rotulación de los tratamientos evaluados	57
Figura 34. Variación del pH.....	58
Figura 35. Gráfica de superficie del % de adsorción vs el tiempo de agitación y la concentración inicial de la <i>E. crassipes</i> en seco	64
Figura 36. Optimización de respuesta de la máxima adsorción de cadmio.....	66
Figura 37. Optimización de respuesta de la mínima adsorción de cadmio	68

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis Físico-químico de la muestra M0	80
Anexo 2. Análisis Físico-químico de la muestra M1	81
Anexo 3. Análisis Físico-químico de la muestra M2	82
Anexo 4. Análisis Físico-químico de la muestra M3	83
Anexo 5. Análisis Físico-químico de la muestra M4	84
Anexo 6. Análisis Físico-químico de la muestra M5	85
Anexo 7. Análisis Físico-químico de la muestra M6	86
Anexo 8. Análisis Físico-químico de la muestra M7	87
Anexo 9. Análisis Físico-químico de la muestra M8	88
Anexo 10. Análisis Físico-químico de la muestra M9	89
Anexo 11. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos	90

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en reducir la concentración de cadmio contenido en aguas del río Rímac proveniente de la industria metalúrgica y minera, mediante el uso de la especie Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*) en seco, así como determinar la influencia de la concentración de *Eichhornia crassipes* seco en la reducción de la concentración de cadmio contenido en las aguas del río Rímac proveniente de la industria metalúrgica y determinar la influencia del tiempo de absorción en la reducción de la concentración de cadmio contenido en aguas del río Rímac proveniente de la industria metalúrgica.

La investigación se dividió en 2 fases; la primera es la fase de obtención de la *Eichhornia crassipes* seco y tamizado y la exploración, reconocimiento y muestreo de agua; La obtención del material de la *Eichhornia crassipes* seca y tamizada se obtuvo por un drenado estático y un secado en estufa y posteriormente se procedió a moler y tamizar, con respecto al muestreo de agua, se siguió el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de Recursos Hídricos aprobado con la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA con ayuda del GPS se llegó al área de estudio, donde se realizó un reconocimiento de la zona, viendo puntos de accesos, así mismo se evaluó la condición del río, su caudal ya que este depende de la época en la cual se realice el muestreo, se observó un caudal regular. Se procedió a realizar la toma de muestras, se reservó y transportó de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad del Agua.

Respecto a la segunda fase se basa en la parte experimental la cual consistió en la evaluación de los parámetros a evaluar de las muestras tomadas, se consideró una muestra representativa y se mandó a analizar la concentración de Cadmio presente en las aguas del río Rímac. Se parte de este punto para iniciar el proceso de reducción del contaminante aplicando la metodología descrita en el presente trabajo en el cual se analizaron en diferentes concentraciones de *Eichhornia crassipes* seca y tiempos de agitación. Se consideró el pH como un indicador, donde se obtuvo que la variación del pH al aplicar el tratamiento no

varía considerablemente además de que se mantiene en un rango de pH óptimo que es de 6.5 hasta 8.5

Como resultado del tratamiento de reducción con el uso de la especie *Eichhornia crassipes* en seco se obtuvo un porcentaje de reducción mínimo de 67.15% y una reducción máximo y óptimo de 97.58%. Se concluye que la biomasa de la *Eichhornia crassipes* en seco actúa efectivamente logrando que el pH oscile entre 6.6 y 7.1 el cual se encuentra dentro del rango óptimo. Por lo tanto, los resultados obtenidos del trabajo concluyen que la especie *Eichhornia crassipes* en seco aplicada en la remediación de aguas contaminadas con metales pesados como el cadmio es ampliamente recomendado, esto por ser un proceso rápido, económicamente viable y ecoamigable con el ambiente.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental principal y más perjudicial es la contaminación de cuerpos de agua superficiales, esto se da por el crecimiento poblacional exponencial, crecimiento industrial y el desarrollo tecnológico de manera insustentable.

El área de estudio es el Distrito de San Mateo de Huanchor, cuya provincia es Huarochirí. En el cual, según testimonios de los pobladores presentados en las noticias de Señal Alternativa, en el cual indicaban que las aguas del río Rímac del sector de San Mateo estaban siendo afectadas negativamente por metales pesados provenientes de las actividades metalúrgicas y mineras que se realizan aguas arriba (Moreno, 2018).

Como se puede observar en el artículo de Calidad del aguas en la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras; en el cual en un periodo de 10 años se realizó las comparaciones con los Estándares de la Organización Mundial de Salud, la Ley General de Aguas y los Estándares Nacionales de Calidad del Agua (ECAS) para la Categoría III, se determinó que se tiene que emplear un tratamiento correctivo para los elementos como el cadmio, plomo, manganeso, arsénico y fierro, los cuales superaron los valores de los ECAS establecidos. La contaminación de aguas superficiales por metales pesados se origina de dos formas: natural y antropogénica, de manera natural por la composición de rocas y suelos; y de manera antropogénica según diversos estudios las principales fuentes son: las actividades mineras y metalúrgicas. (Calla y Cabrera, 2010).

La importancia del presente trabajo es disminuir la concentración de metales pesados, como el cadmio, de las fuentes naturales de agua superficiales, debido a los problemas ambientales que originan tener niveles altos de contaminación, como son la pérdida de biodiversidad, intoxicación de peces, reducción de los suministros de agua potable, además de problemas sociales que estos originan.

Según diversos estudios determinaron la eficiencia de diversas plantas acuáticas para la fitorremediación de aguas contaminadas, en el presente estudio se utilizó la planta acuática de la especie *Eichhornia crassipes* o conocida comúnmente como lirio acuático, se ejecutó con la *Eichhornia crassipes* en seco debido a que estudios preliminares determinaron que no afecta los resultados, si no que potencia su poder de adsorción, y otro punto a favor es la reducción del tiempo de tratamiento.

El presente trabajo determinó la eficiencia de adsorción que posee la *Eichhornia crassipes* en seco respecto a la concentración de cadmio presente en las aguas del río Rímac en el sector de San Mateo de Huanchor, Huarochirí. Con el fin de proponer la cantidad de *E. crassipes* y el tiempo óptimo por litro de solución.

El aporte del presente trabajo es la utilización de un método con equipos de fácil acceso y económico que sustituya a los modelos de tratamiento convencionales, los cuales son de costos elevados. Otra ventaja del procedimiento que se aplica en el presente trabajo frente a otros tratamientos como es el caso de la fitorremediación es la reducción del tiempo de tratamiento, así se podría tratar una mayor cantidad de agua en un tiempo considerable.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de *Eichhornia crassipes* en seco en la reducción de la concentración de cadmio del agua proveniente de industrias metalúrgicas de San Mateo de Huanchor – Huarochirí.

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento de los parámetros físico-químico en la reducción de concentración de cadmio mediante el tratamiento de la *Eichhornia crassipes* en seco.
- Determinar la relación de la capacidad de adsorción de la *Eichhornia crassipes* en seco con relación a la reducción del cadmio.
- Determinar la eficiencia en la remoción de cadmio mediante el uso de la *Eichhornia crassipes* en seco.

CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Tal como manifestaron Atehortua y Gartner (2013) en su investigación, encontraron que la especie *Eichhornia crassipes* seca y molida debido a la composición del material conformado por lignocelulosa es altamente hidrofílico, en su procedimiento experimental determinó que es efectiva para la adsorción de plomo (Pb) y cromo (Cr) en solución. Por lo tanto, la especie *Eichhornia crassipes* puede ser usada como adsorbente de metales pesados en aguas residuales, no solo usando el método convencional de la fitorremediación sino también utilizando la biomasa seca como un proceso rápido y sin necesidad de tener que contar con equipos e infraestructura compleja para su proceso. En el proceso se realizaron 2 tipos de procedimientos, el primero que fue el secado a la temperatura de 80°C y la segunda el material fue secado a una temperatura de 200°C sin mostrarse incremento en la adsorción de plomo, por lo tanto, el secado se puede realizar entre ese rango de temperatura.

Guevara y Ramírez (2015) indicaron en su investigación, los ecosistemas se ven en peligro por la invasividad de la especie *Eichhornia crassipes*, debido a que esta planta aprovecha los nutrientes, consume todo el oxígeno afectando de esta manera el desarrollo de las demás especies que se encuentran en el ecosistema. Los controles biológicos más efectivos son los gorgojos (*Neochetina spp.*) y carpa forrajera (*Ctenopharyngodon idella*). La *Eichhornia crassipes* posee diferentes características que o hacen un buen fitorremediador, ya que puede depurar y acumular metales pesados. Se emplean en humedales artificiales para poder ser controlados y así no afecte ecosistemas naturales.

Según indicaron Cortés y Florez (2017) en su investigación, donde expusieron a la Taruya (*Eichhornia crassipes*) a diferentes concentraciones

de cromo iniciales de 1.2ppm, 1.5 ppm y 1.8ppm, obteniendo como resultados de remoción de cromo un promedio de 65.38%, 69.57% y 65.36% respectivamente. La capacidad de absorción de metales en la Taruya se ve favorecida por el alto porcentaje de celulosa que esta posee en sus raíces y tallos, además también influye la presencia de los grupos hidroxilos los cuales posibilitan la formación de puentes de hidrogeno con las sustancias externas. La acumulación de los metales pesados se da por la biosorción al interior de la célula para su difusión como ion metálico por la membrana celular.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Según Poma y Valderrama (2014) en su investigación, pudieron determinar las condiciones adecuadas u óptimas para lograr la absorción de cadmio Cd (II) y Hg (II) con el uso de la *Eichhornia crassipes*, obteniendo como resultado que la dosis óptima de 1 ml de la solución A y 0.5 ml de la solución B, con condiciones de un pH 5, con concentración del Cd y Hg de 5mg/L, el porcentaje de absorción máxima que se obtuvo para el Cd (II) fue de 16.56% y para el Hg (II) fue de 15.60%, con un periodo de experimentación de 7 días, quedándose demostrado la efectividad de la planta en el proceso de fitorremediación. Por ende, se concluye que la especie *Eichhornia crassipes* es una planta con potencial fitorremediador de cadmio y mercurio.

Como manifestaron Baldeón, Arias, Martínez y Cruz (2017) en su investigación donde obtuvieron una remoción de los parámetros fisicoquímicos tales como la conductividad, oxígeno disuelto, solidos totales, turbiedad, pH, conductividad, temperatura, DBO₅, DQO, fosfato y plomo total con una eficiencia de 31%. Respecto al crecimiento de la especie flotante *Eichhornia crassipes*, se hizo un comparativo entre las especies que crecían en el sistema flotante y los del invernadero y se obtuvo que los del sistema flotante se desarrollaron en 15 días logrando duplicar su población, y las especies del invernadero demoraron de 3 a 4 semanas, y este se monitoreo por 2 meses.

Tal como indicaron Rojas y Suyon (2019) en su investigación, antes de iniciar la parte experimental se tomaron los siguientes datos de los

parámetros fisicoquímicos iniciales tales como la concentración de arsénico (As) de 0.047 mg/l, con pH de 7.25 y con una temperatura de 26.6°C, después de la primera semana de tratamiento se obtuvieron como resultados que la concentración de arsénico era de 0.031mg/l con un pH de 7.19 y a una temperatura de 21.4°C. Los resultados de la segunda semana dieron como resultados la disminución del arsénico a un 0.019mg/l con un pH DE 7.1 y a una temperatura de 23°C, y se tuvo que el porcentaje de reducción de arsénico en 2 semanas fue del 60%.

Según Sandoval (2019) en su investigación, la parte experimental se basó en analizar la eficiencia de remoción del cadmio mediante el uso de las dos especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor L.* a una concentración inicial de 2mg/l de cadmio, obteniéndose como resultados que la más eficiente de las especies es la *Eichhornia crassipes* ya que supera en 47% a la *Lemna minor L.* en la remoción de cadmio. Además, se obtuvo que en 11 días de tratamiento con la especie *Eichhornia crassipes* una remoción del 83.57%, siendo clasificada como una eficiencia muy alta ya que supera el rango de 70% a 77%. De la misma manera el tratamiento de 11 días con la especie *Lemna minor L.* logró una remoción del 39.35% clasificándose como una eficiencia media que se encuentra en un rango de 30% al 50%.

Con respecto a la modificación morfológica en ambas especies, se obtuvo que la especie *Lemna minor L.* necesita más nutrientes que la *Eichhornia crassipes* para poder desarrollarse, ya que su crecimiento fue limitado. Y se observó el impacto negativo del cadmio en la planta, debido a que durante el desarrollo de la parte experimental las plantas pasaron de tener un color verde brillante a un verde oscuro y marrón en la *Eichhornia crassipes* y verde amarillento en el caso de la *Lemna minor L.* (Sandoval, 2019).

2.2 BASES TEORICAS

2.2.1 El agua

Es un líquido muy esencial para la vida, está compuesto químicamente por dos átomos de hidrogeno y un átomo de oxigeno (H₂O), es un componente que está presente en nuestra naturaleza desde hace millones de años,

ocupando las tres cuartas partes de la superficie total del planeta y es un recurso renovable que se puede encontrar en tres estados de la materia: sólido, líquido y gas (Poveda, 2014).

Existen diferentes fuentes de agua, las cuales requieren diferentes tipos de tratamiento para que estas puedan ser de consumo humano, a continuación, se detallará (Poveda, 2014):

- **Aguas subterráneas:** Son aguas que se han filtrado desde la superficie de la tierra por los poros del suelo.
- **Aguas superficiales:** Son considerados los ríos y lagos, las cuales son principales fuentes de abastecimiento de agua.
- **Aguas de mar:** Su disponibilidad es casi ilimitada, puede ser transformada en agua dulce por varios procesos de tratamiento, pero el costo es de dos a cinco veces más elevado que tratar el agua dulce.

a. Contaminación del recurso hídrico en América Latina

América Latina posee el tercio de fuentes de agua a nivel mundial, y la preocupación de la contaminación de agua que se registra es alarmante por las consecuencias adversas que puede traer ecológicamente y a la salud de la población, además si contamos que el 70% de las aguas residuales producidas no son tratadas, es decir son extraídas del cauce del río, se emplea en sus procesos y es devuelta completamente contaminada a los ríos (Fernando, Gonzales y Morales, 2015).

b. Contaminación del agua

Se entiende por contaminación de agua a la presencia de sustancias de cualquier naturaleza, disueltas o suspendidas en un curso de agua, que poseen concentraciones elevadas o mínimas a los límites establecidos. Las principales causas de la contaminación de agua se deben a las actividades del hombre en el afán de crecimiento, como son en la agricultura, la ganadería, actividades agropecuarias, actividades mineras, construcción, actividades domésticas y demás (UICN, 2018).

La contaminación del agua surge cuando se produce la alteración del medio físico y esto pone en riesgo la sobrevivencia de las especies. El ecosistema es un ambiente muy susceptible a cambios, por polución o contaminación las cuales derivan de actividades humanas como son la agricultura, industria o urbanización descontrolada de algunas zonas, y la acumulación de estos contaminantes se dan ríos, lagos o fuentes subterráneas, y existen dos tipos de contaminación (Poveda, 2014):

- **Contaminación natural:** es aquella contaminación que es producida naturalmente, es decir que no interviene el ser humano, unos ejemplos son: la muerte de un animal en el lecho de un río, este se descompondrá y contaminará el agua, otro ejemplo es la circulación de cuerpos de agua sobre minerales tóxicos y en consecuencia estos serán contaminados, etc.
- **Contaminación artificial:** Es la contaminación en la que interviene la actividad humana, algunos ejemplos son las actividades como la agricultura, ganadería, minería, etc.

El agua puede contener la sustancia contaminante en dos formas, las cuales son disueltas y en suspensión, dentro de los principales contaminantes se puede destacar los detergentes sintéticos y metales pesados (Carpio, 2017).

2.2.2 Tipos de movimientos de los contaminantes en el medio acuático

El análisis del comportamiento de las sustancias contaminantes cuando ingresa al medio acuático es de suma importancia en la ingeniería de la calidad del agua. Cuando el contaminante ingresa al medio acuático su concentración se ve afectada por diversos fenómenos, como lo son (Sierra, 2011):

a. Advección

Es el mecanismo por el cual un contaminante o sustancia atraviesa o se trasporta de un lugar a otro dentro de un cuerpo de agua como se observa en la Figura 1, esto se da debido al impulso del caudal, asimismo indicar que la concentración de los contaminantes cambia pero no su composición química (Sierra, 2011).

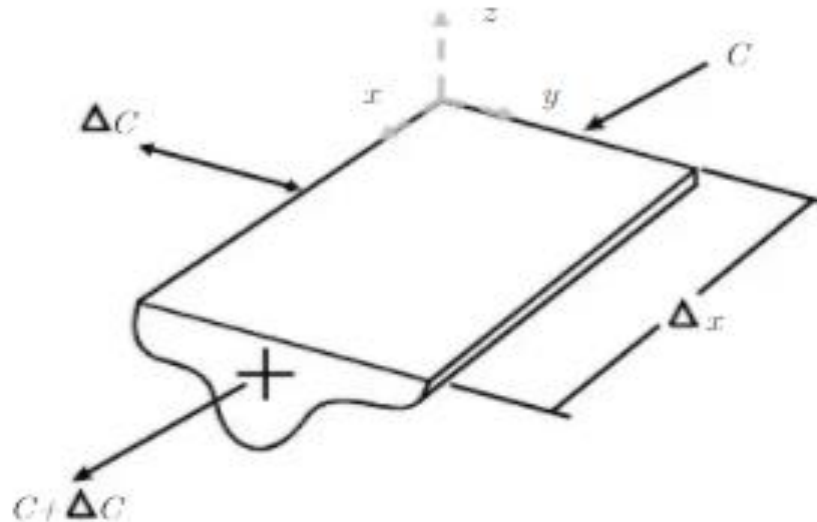


Figura 1. Se describe el cambio en la concentración producto del transporte advectivo de una sustancia o contaminante en el cuerpo de agua.

Dónde:

ΔC : Incremento de concentración en la longitud Δx

Δx : Longitud del volumen de control

$C + \Delta C$: Concentración a la salida del volumen de control

C : Concentración del contaminante a la entrada de control

b. Dispersión - difusión

Son términos que se confunden de manera frecuente, los dos son considerados mecanismos de transporte convectivo, ocasionando la mezcla de un contaminante con el agua. Se denomina transporte convectivo cuando se da el cambio de concentración debido a la diferencia de gradientes de 2 sitios del cuerpo de agua, con este proceso se busca lograr equilibrar las diferencias como se observa en la Figura 2 (Sierra, 2011).

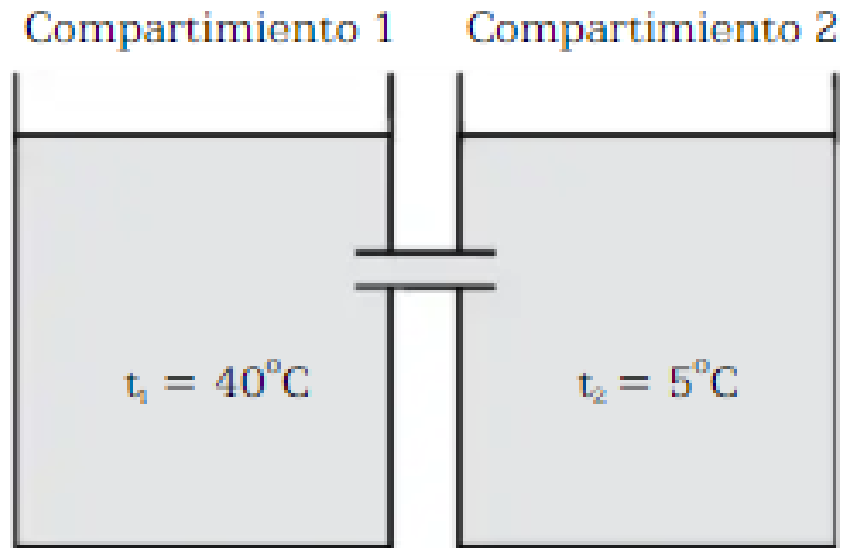


Figura 2. Compartimientos a diferentes temperaturas, conectados por un orificio y con agua al mismo nivel de altura, la temperatura se va a nivelar en los dos compartimientos así no se dé el paso de agua por parte de los dos.

- **Difusión:** se refiere al traslado al azar de una sustancia o contaminante de un lugar a otro en función al tiempo que tienen las moléculas de agua, es decir que en la difusión la sustancia o contaminante se va diluyendo en el tiempo y que su concentración cambia, pero su composición química sigue siendo la misma. Como se detalla en la *Figura 3* (Sierra, 2011).

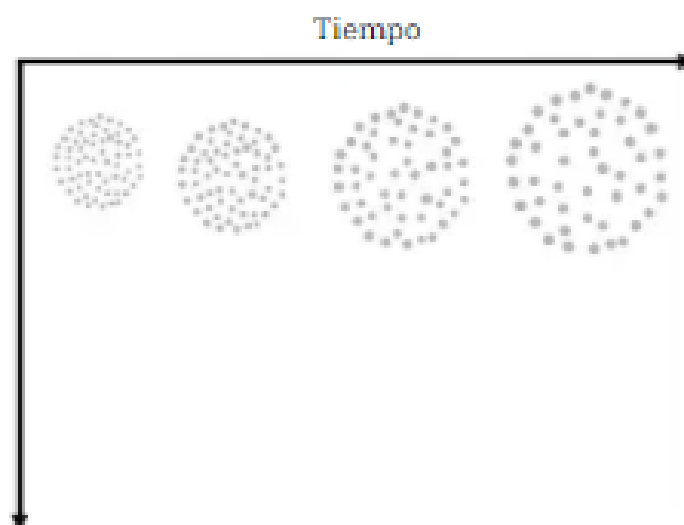


Figura 3. Proceso de difusión del contaminante o sustancia

- **Dispersión:** Se utiliza este término cuando se trata de cuerpos de agua angostos, en los cuales el agua fluya con un caudal considerable, los cuales pueden ser ríos, canales, estuarios. La dispersión se da cuando se tiene diferencias de velocidades, esto ocasiona que el proceso de dispersión este condicionado con la velocidad del caudal, ya que como se observa en la *Figura 4* el contaminante se dispersa más al centro y en las paredes la dispersión es más lenta (Sierra, 2011).

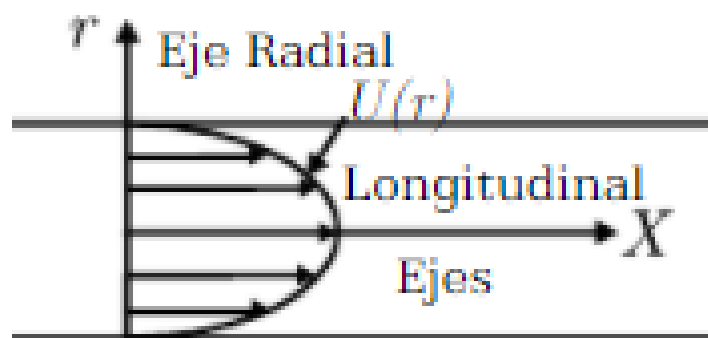


Figura 4. *Proceso de dispersión del contaminante o sustancia.*

c. Reacción

Aquí se da el cambio en la concentración de un contaminante por transformaciones químicas, físicas o biológicas, al cual está expuesta la sustancia en el medio. Cuando se da una reacción química los contaminantes cambian su composición química, un caso es por ejemplo el nitrógeno orgánico se convierte en nitratos (Sierra, 2011).

d. Sumideros

Los sumideros definen el aumento o disminución de la concentración de la sustancia debido a que el material está saliendo o entrando al sistema. Se da por aportes de contaminantes puntuales o distribuidas (Sierra, 2011).

2.2.3 Calidad del agua

Cuando se habla de calidad de agua este comprende las características químicas, físicas y biológicas del elemento, los cuales determinan si son aptos para diversos usos como el consumo humano, agrícola, ganadería, uso para recreación o el mantenimiento de un ecosistema (UICN, 2018).

a. Índice de calidad de agua

Se conocen más de treinta índices de calidad de agua que son comúnmente usados y se considera un rango de 3 y 72 números de variables, después de un análisis se llega a la conclusión de que la mayoría de los índices incluyen al menos tres de los siguientes parámetros, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno amoniacal, nitrato, ortofosfato, potencial de hidrogeno (pH) y solidos disueltos totales (STD) (Quiroz, Izquierdo y Menéndez, 2017).

b. Monitoreo de la calidad del agua

El monitoreo de la calidad del agua se basa en el control de los parámetros de interés del cuerpo de agua, siguiendo un orden y metodología ya establecidas, con esos resultados se puede conocer la calidad del agua y también la cantidad, de tal manera que con los resultados se pueda tomar decisiones más informadas sobre cómo gestionar el recurso hídrico (UICN, 2018).

Cuando se realiza el monitoreo de la calidad del agua se puede establecer rangos en los cuales tienen que estar los parámetros de control y con los datos obtenidos se puede crear alerta temprana de contaminación y adoptar medidas correctivas, antes de que la contaminación cause que el cuerpo de agua no sea apto para el uso que estaba determinado (UICN, 2018).

2.2.4 Parámetros a analizar en las aguas residuales

A continuación, se describe los parámetros físicos y químicos que se pueden analizar en aguas residuales, y se resalta la importancia.

Los parámetros físicos, tal como su nombre lo indica, da a conocer las características físicas visibles del agua, los cuales se detalla a continuación (García, 2012):

a. Color y olor

Sirven como indicador del grado de contaminación que se dan por residuos y presencia de aguas residuales, indica un inadecuado o ineficiente tratamiento antes de la descarga del efluente.

b. Sólidos totales

Esta se representa como la suma de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST), además de poseer sólidos fijos y sólidos volátiles, los cuales pueden ser sedimentables o no sedimentables. Generalmente alrededor del 60% del total de sólidos suspendidos en aguas son sedimentables. Este parámetro se emplea como medidas de desempeño de las unidades de tratamiento con propósitos de control, porque los sólidos sedimentables son los que causan la formación de bancos de lodos, que son los causantes de olores desagradables.

Los parámetros químicos son los que solo se pueden determinar a través de análisis en laboratorio, y su importancia se basa en los efectos que pueden producir estos componentes o elementos en los medios acuáticos y la flora y fauna existente en ese cuerpo de agua.

a. pH

Determina si una solución es ácida o básica, se basa en la medición de los iones de hidrógeno en una solución. La escala varía de 0 a 14, los cuales miden el grado de acidez o basicidad de una solución, los valores menores a 7 son considerados ácidos y los valores que se acercan a 14 indica un aumento de la basicidad, además si el valor dado es 7 indican neutralidad.

Para Rodier (1986), el pH óptimo varia en el rango de 6.5 y 8.5, entre neutra y ligeramente alcalina, el valor máximo aceptado es 9 y es donde

existe la mayor parte de la vida biológica, si el pH es mayor a 9 cualquier tipo de tratamiento es complicado mediante procesos biológicos.

b. Oxígeno Disuelto

La presencia de oxígeno en el agua es muy importante ya que es la responsable de la vida para los seres acuáticos, el mayor problema es la baja solubilidad de oxígeno gas en el agua, esto se debe directamente a las condiciones ambientales del agua, la cantidad de oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la temperatura y es directamente proporcional a la presión.

2.2.5 San Mateo de Huanchor

San Mateo de Huanchor está ubicado en la provincia de Huarochirí, en la región de Lima, está situado en la Carretera Central a la altura del Km 92, el cual posee una altitud entre 3100 hasta 5000 m.s.n.m., tiene una extensión aproximada de 425.6 Km², el acceso a San Mateo de Huanchor se da por la carretera central, saliendo de la ciudad de Lima, hasta el Km 92 al 95, forma parte de la cuenca hidrográfica del río Rímac.

a. Problemática ambiental de San Mateo de Huanchor

Según Calla y Cabrera (2010), determinaron que la calidad del agua de la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, se está viendo afectado por las actividades mineras presentes en áreas cercanas, se han determinado en la zona existen 21 pasivos ambientales mineros, entre los que se tiene las bocaminas, relaveras e infraestructuras que están en la ribera del río Rímac, la investigación tuvo un periodo de recolección de datos y monitoreo de 10 años, realizándose un análisis comparativo con las normas legales vigentes ambientales, se tomaron como referencia las normativas nacionales e internacionales vigentes. Del análisis se determinó que los niveles de cadmio, plomo, manganeso, arsénico y fierro son los elementos que tienen que recibir un tratamiento correctivo, debido a que sus concentraciones en las aguas del río Rímac superan a los estándares de calidad de agua.

En el 2018, cinco comunidades que se encuentran ubicadas a la rívera de la cuenca del río Rímac se ven afectadas por la contaminación de agua y suelo, las cuales son productos de las actividades mineras y metalúrgicas, muchos relaves mineros se encuentran al borde de colapso y se suceder esa catástrofe la fuente de abastecimiento de agua potable para la población limeña se vería afectada severamente. Los pobladores comentaron que no tienen agua, aire ni agua limpia, que la salud de todos se ve muy perjudicadas. La población de San Mateo de Huanchor acoge a la minera Lizandro Proaño la cual es la causante de muchos impactos ambientales negativos. A esto se le une el problema de desastre natural como son los huacos y deslizamientos los cuales se dan producto del fenómeno del Niño, la cual provoca lluvias torrenciales, desbordes del río, afectando gravemente a la población (Moreno, 2018).

Según índices técnicos los que fueron presentados por diversas organizaciones ambientales, en el agua del río Rímac se encuentran variedad de contaminantes que amenazan la salud de la población, algunos de estos contaminantes son el arsénico, cadmio, manganeso y plomo. Los cuales son altamente tóxicos y afectan gravemente la salud de las personas, animales y plantas del lugar (Moreno, 2018).

2.2.6 Metales pesados

Son considerados metales pesados a los elementos químicos que poseen densidades mayores a 5 gr/cm^3 , y pesos atómicos superiores a 44,956 y números atómicos mayores a 20, con la excepción de los grupos alcalinos, alcalinotérreo, lantánidos y actínidos. Se puede clasificar a los metales pesados en esenciales en los que tenemos al cobre, cobalto, hierro, manganeso, zinc, molibdeno, las cuales cumplen funciones biológicas a concentraciones óptimas y se tiene los no esenciales que son el cromo, cadmio, mercurio, plomo, arsénico, antimonio, los cuales no cumplen ninguna función biológica conocida (Gutiérrez, 2015).

En la geósfera se encuentra los iones metálicos de manera natural en la corteza terrestre y por la actividad humana estas son extraídas para ser

usada en las industrias. Las causas naturales principales por las que se da la acumulación de metales en los ecosistemas son: la erosión, actividad volcánica y los incendios forestales, pero estas a su vez cumplen el ciclo de remediación, es decir que no representa un efecto dañino para los ecosistemas (Gutiérrez, 2015).

a. Contaminación de metales pesados

Cuando se habla de metales pesados se refiere a elementos químicos, que casi en su totalidad son dañinos para los seres humanos, por su nivel de toxicidad, su uso y su amplia distribución (Sandoval, 2019).

En el medio acuático los contaminantes más peligrosos son los metales pesados, esto se debe a que esos tipos de tóxicos tienen la tendencia a ser acumulativos y es concentrado por las diferentes especies, siendo más agresivos y teniendo más impacto en la salud cuando la cadena evolutiva asciende hacia el hombre (Carpio, 2017).

Los metales pesados están dentro de los considerados más peligrosos para la salud humana pudiendo provocar daño en los organismos más sensibles, así como la inhibición de la fotosíntesis en el fitoplancton, la inhibición del crecimiento y el desarrollo de otras formas de vida (Carpio, 2017).

Es considerado metal pesado cualquier catión que tenga un peso atómico mayor a 20; entre ellos se encuentra el níquel, manganeso, plomo, cromo, zinc, cadmio, hierro, cobre, mercurio, etc (Carpio, 2017).

2.2.7 El Cadmio

Es de color blanco ligeramente azulado, está asociado en gran medida al zinc y es raro ser encontrado en la naturaleza, su peso atómico es 112.41 y posee una densidad de 8.642 g/cm^3 , posee ocho isótopos estables y once radioisótopos de manera artificial (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

Las propiedades que posee el cadmio son alta resistencia a la corrosión y esta es usada para la electrodeposición de otros metales, en particular del

acero y hierro (Nordberg, 1988). Una característica importante es la insolubilidad en el agua, pero si es soluble en ácidos minerales, además de que, si se encuentra como compuesto como, óxido de cadmio, cloruro de cadmio, sulfato de cadmio, son solubles en agua (Sandoval, 2019).

Los usos del cadmio van desde la producción de pinturas, baterías, trabajos de soldadura, asbestos, actividades farmacéuticas, en la fotografía, en el vidrio, porcelana, producción de abonos, entre otras (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

El cadmio no es un elemento necesario para los sistemas biológicos, no es natural que se encuentre en los alimentos, agua y aire; y si se encontrara, este es motivo de contaminación antropogénica (Sandoval, 2019).

Las principales fuentes de exposición de cadmio en los seres vivos se dan por los alimentos y el agua, es decir por la vía digestiva, la exposición mediante la vía respiratoria es poco probable, solo se da en casos en que la persona trabaje en una empresa de producción de cadmio (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

En los animales la absorción se da de manera diversa, pero más bajo en comparación al de los humanos, las especies herbívoras poseen una capacidad de acumulación de cadmio mayor, esto se debe a que los alimentos ricos en fibras contribuyen a una mayor concentración de cadmio por ende contribuye a una mayor exposición (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

a. Efectos del cadmio en la salud

La Organización Mundial de la Salud indica que la severidad de los signos, síntomas y la alteración que causa en el organismo se relaciona con la cantidad o nivel de exposición, el tiempo al que la persona es expuesto y también de la vía de exposición (digestiva o respiratoria), causando como exposición crónica síntomas como anemia, cálculos renales, trastornos respiratorios, trastornos nerviosos, cefalea, alteración del sueño, disfunción

renal, pérdida de apetito y peso, cáncer al pulmón y cáncer de próstata, vómitos, dolores abdominales, hasta aberraciones cromosómicas; en los riñones se pueden acumular hasta por 30 años (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

Las personas que sufren de falta de hierro son más propensas a una mayor acumulación de cadmio en su sistema, esto es por la relación que poseen (Nordberg, 1988).

Tras la absorción del cadmio ya sea por la vía digestiva o respiratoria, el cadmio se transporta hacia el hígado, y es ahí donde se produce la metalotioneína, y esta se une al cadmio, disminuyendo de esa manera la toxicidad de este metal en el organismo, pero cuando se supera la cantidad de producción de la metalotioneína en las células de los túbulos se produce la insuficiencia renal, esto se da por una alta exposición al metal y a que su proceso de eliminación es muy lenta y es ahí donde se da la acumulación (Nordberg, 1988).

Una toxicidad aguda de cadmio por inhalación en concentración en el aire mayores a 1mg Cd/m^3 por un periodo de ocho horas, en una mayor exposición en un menor periodo de tiempo puede producir neumonitis química y en un caso más grave causa edema pulmonar, dichos síntomas aparecen de una a ocho horas después de la exposición y los síntomas leves son la gripe, entre otros, y los síntomas más graves pueden tener un periodo de latencia de hasta 24 horas, y el fallecimiento puede darse de 4 a 7 días (Nordberg, 1988).

La ingesta de alimentos o bebidas contaminadas en concentraciones superiores a 15mg Cd/l causa intoxicación alimentaria, los síntomas son náuseas, dolor abdominal y en algunas ocasiones diarrea (Nordberg, 1988).

Respecto a la toxicidad crónica se pueden observar manchas amarillas en los cuellos de las piezas dentarias y la pérdida del sentido del olfato que es la anosmia, otra enfermedad es el enfisema pulmonar se da por la

exposición prolongada de cadmio en el aire, como consecuencia reduce la capacidad laboral, causa invalidez y acorta la vida (Nordberg, 1988).

2.2.8 *Eichhornia crassipes*

La especie *Eichhornia crassipes*, conocido comúnmente como Jacinto de agua o Buchón de agua, es una planta flotante acuática que se reproduce normalmente en aguas tranquilas, las cuales pueden ser lagos, charcos, embalses de los trópicos y subtropicales, o en ríos donde poseen un caudal mínimo, lo más característico visualmente y por lo cual se puede reconocer de manera inmediata es la forma de sus hojas abombadas y el color violeta de su flor, esta especie pertenece a la familia de las Pontederiáceas (Pontederiaceae) (Quispe, Arias, Martínez y Cruz, 2017).

La *E. crassipes* se encuentra considerada por la Unión Internacional para la conservación de los recursos naturales y la naturaleza, dentro de las cien especies más invasoras del mundo, esto es porque es una especie flotante cuyas raíces se encuentran sumergidas, además que su proliferación se da de manera exponencial si no se realiza ningún tipo de control (Quispe et al., 2017).

a. Taxonomía

Según Poveda (2014), la clasificación taxonómica de la *E. crassipes* se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1
Clasificación taxonómica de *Eichhornia crassipes*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Pontederiales

Familia	Pontederiaceae
Género	Eichhornia
Especie	<i>Crassipes</i>

b. Morfología

No posee aparentemente tallo, está provisto de rizomas las cuales son emergentes del cual se abre como un rosetón de hojas, estas poseen características infladas y esponjosas en forma de vejiga en la cual almacenan aire, y es esta característica la cual le permite ser catalogada como una planta flotante (Quispe et al., 2017).

Produce flores de color lilas y azuladas en la temporada de verano, sus raíces son negras con extremidades blancas las cuales son muy características cuando la planta es de edad temprana, por otro lado, cuando ya son adultas se muestra de color negro violáceas, esta especie crece formando rosetas que a su vez forman conexiones entre sí mediante los estolones (Poveda, 2014).

En la Figura 5 se puede observar las partes de la *E. crassipes*.

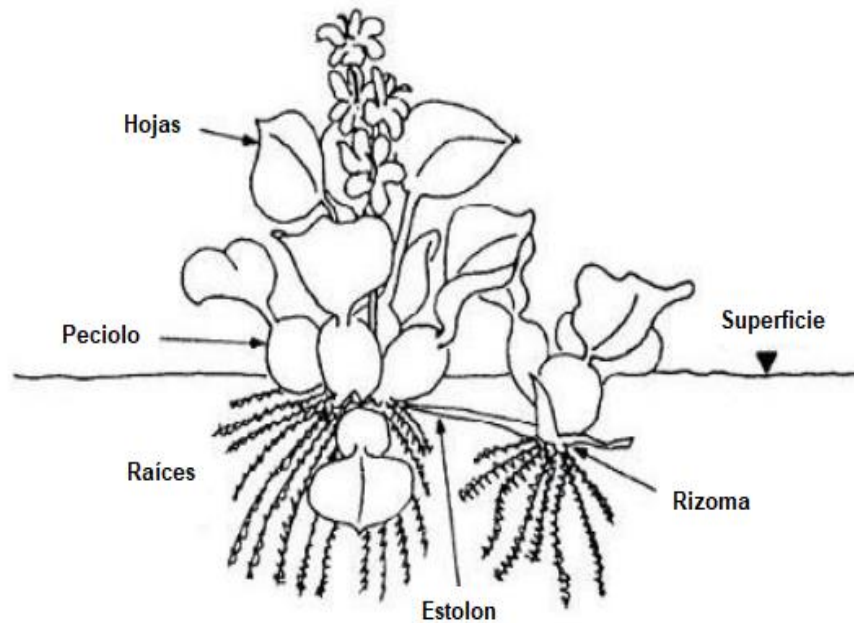


Figura 5. *Morfología de Jacinto de agua (E. crassipes)*

c. Hábitat

Las condiciones óptimas para que la especie se desarrolle son las siguientes (Poveda, 2014):

- La iluminación tiene que ser intensa o debe estar en semi sombra.
- Poseer una temperatura entre 25°C y 30°C para que tenga un crecimiento óptimo, y es muy importante protegerla de las heladas.
- Es necesario que se encuentre entre un pH de 6.5 a 7.5
- No es resistente a medios salinos.

d. Reproducción

Su reproducción es asexual y sexual, principalmente ocurre de manera vegetativa por medio de la producción de estolones, pero su reproducción por semillas es de suma importancia cuando estas son eliminadas por las plantas adultas, lo cual es la fuente principal para el rebrote. La *Eichhornia crassipes* suele duplicar su tamaño a los diez días y durante los 8 meses siguientes una planta sola puede ser capaz de producir 70,000 plantas hijas, y estas pueden llegar a medir entre 0.5 a 1.5 metros (Poveda, 2014)

e. Crecimiento

El crecimiento de la *Eichhornia crassipes* depende directamente de las condiciones climáticas, los nutrientes que presenta el agua (río, laguna, estanque, etc.), el método de cosecha que se aplica, la temperatura y el pH, además de que es capaz de crecer en efluentes domésticos, de actividades pecuarias y de igual manera es un excelente acumulador de cadmio, selenio y cobre, en menor cantidad del cromo y acumula en menor proporción el níquel y plomo (Cruz, et al., 2016).

f. Efecto de *E. crassipes* en fuentes naturales de agua

La razón principal de estudiar la *E. crassipes* radica en que es una especie invasora, por lo que como consecuencia puede crear daños irreversibles desde el punto de vista ecológico hasta temas sociales, en el que viene incluido el tema económico, ya que la proliferación incontrolada de esta especie puede poner en peligro la biodiversidad de múltiples ecosistemas a nivel mundial (Guevara y Ramírez, 2015).

La proliferación de la *E. crassipes* en aguas loticas o estacionarias, afecta en primera instancia la cantidad de luz que pasa a partes profundas del agua, esto es debido a la formación acumulada que crea en su crecimiento que limita el paso de radiación a partes más profundas del cuerpo de agua, asimismo existe una relación inversa con la disponibilidad de oxígeno disuelto y la proliferación de esta especie, en consecuencia al tener una mayor reproducción de la *E. crassipes* se limitaría la disponibilidad de oxígeno para el crecimiento de especies en el cuerpo de agua, y por ende se extinguiría o modificaría el hábitat de las especies que existían con anterioridad en ese cuerpo de agua (Guevara y Ramírez, 2015).

La *E. crassipes* también reduce el crecimiento de fitoplancton y otras plantas que se desarrollan en los cuerpos de agua, otro problema importante que causa el crecimiento y proliferación de esta especie es la eutrofización de los cuerpos de agua, además de que sirve como hospedero de larvas de mosquitos, los que ocasiona problemas ecológicos

y sociales, económicamente afecta al área de agricultura al momento de realizar el riego causando obstrucción de los canales de riego o llevando consigo plagas que afecten a los cultivos, además que también puede afectar a los pueblos que abastecen de energía eléctrica a través de centrales hidroeléctricas (Guevara y Ramírez, 2015).

g. Función de las macrófitas

En función a los procesos que dan lugar a la depuración o eliminación de contaminantes mediante el uso de macrófitas flotantes se dan a través de 3 mecanismos (Martelo y Lara, 2012).

- Mediante la filtración y sedimentación de sólidos.
- Por agregar nutrientes en las plantas y posteriormente cosecharlo.
- Utilizando microorganismos facultativos para la degradación de la materia orgánica.

2.2.9 Composición de la biomasa seca de *E. crassipes*

a. Propiedades físicas

Los tallos de la planta *Eichhornia crassipes* posee una humedad superior al 90%, esto se debe a que posee una estructura esponjosa, además que su alta capacidad de retención de agua se debe a la presencia de grupos hidroxilo en su estructura los cuales son los que permiten la formación de enlaces de hidrógeno. La biomasa en seco del material triturado y seco, posee un promedio de 5.9% de humedad la cual se determinó por gravimetría (Atehortua y Gartner, 2013).

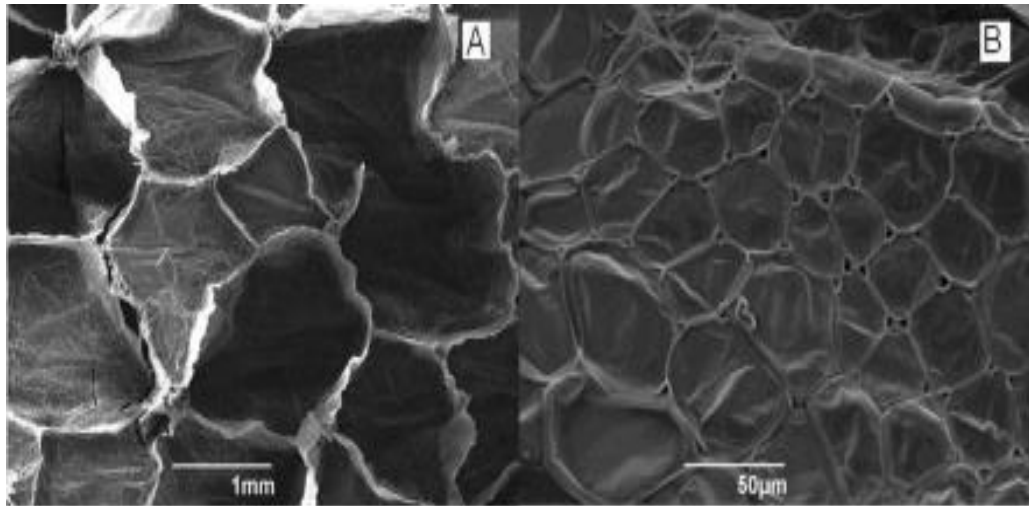


Figura 6. Vista en micrografías SEM del material triturado seco de *Eichhornia crassipes*, corte transversal A) 1mm y B) 50µm.

La densidad tiene como valor de 0.0665 g/ml, además que el material triturado seco presenta una baja área superficial, teniendo como promedio un valor de 1,4128m²/g, no presenta microporosidad, pero si posee cavidades superiores a 12.3nm en el rango de la mesoporosidad, por lo tanto, el material seco es básicamente macroporoso, como se puede observar en la Figura 6 (Atehortua y Gartner, 2013).

b. Comportamiento térmico

Se puede observar en la *Figura 7* la descomposición térmica de material triturado y seco, en la cual se observa que hay 3 pérdidas bien definidas, la primera pérdida se da hasta los 260°C en donde ocurre la pérdida de agua y volátiles, respecto al peso se pierde un 10%. La segunda pérdida se da entre 260°C y 400°C en la que se descompone la hemicelulosa restante y se pierde respecto a su peso el 50%, la tercera pérdida se da por encima de 400°C en la cual se da paso a la descomposición de la celulosa y lignina restante y se da la pérdida del 27% del peso, dejando un residuo del 13% (Atehortua y Gartner, 2013).

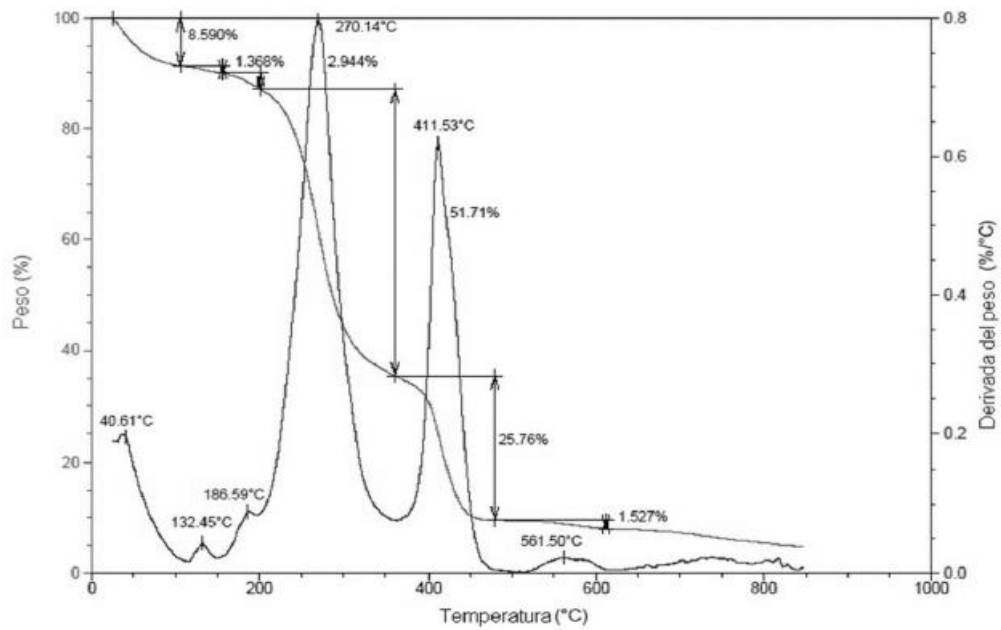


Figura 7. Termograma de la planta *E. crassipes* seca y triturada.

c. Composición química

El material molido seco presenta una gran variedad de elementos, entre los más abundantes tiene el potasio a un 12%, calcio a un 5%, cloro a 2.5%, manganeso a 0.5% y aluminio (0.5%); de igual manera posee Ti, Sr, Sn, Br, Zn y Ni en contenidos más bajos. Todos los elementos antes mencionados son requeridos por la planta como nutrientes en su metabolismo (Atehortua y Gartner, 2013).

Según Atehortua y Gartner (2013), el principal mecanismo por el cual la planta puede acumular in vitro los diferentes metales se da por reacciones de complejación con los aminoácidos.

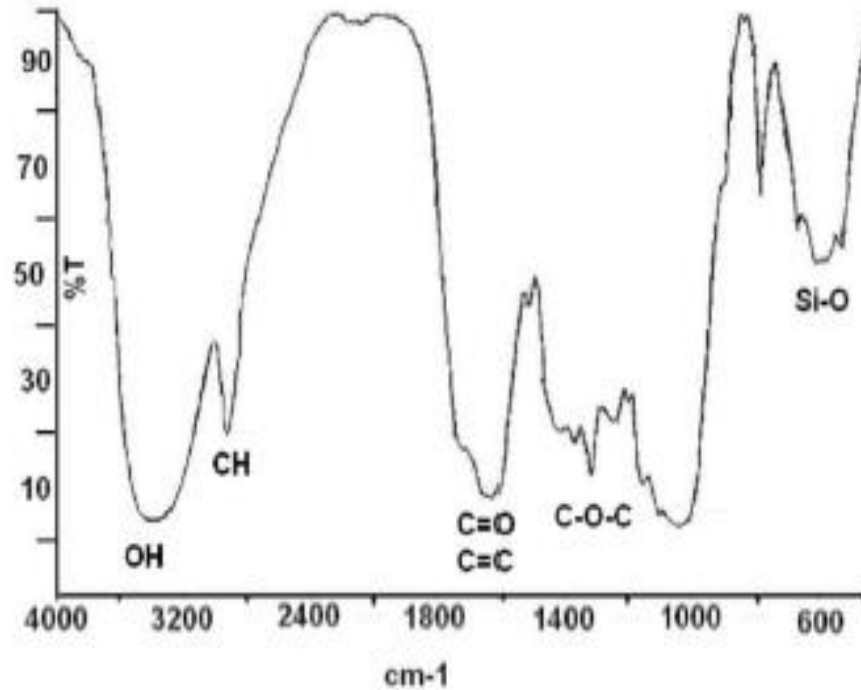


Figura 8. Espectro infrarrojo del material seco

En la Figura 8 se puede observar el análisis infrarrojo, el espectro FTIR del material deshidratado, en que se observa los grupos característicos de la celulosa, hemicelulosa y lignina como estiramientos de C=O en 1643 m^{-1} , estiramientos de C-O entre 1064 m^{-1} y 1030 m^{-1} , así mismo los estiramientos de los grupos OH entre 3000 m^{-1} y 3750 m^{-1} , las que corresponden a los OH de las moléculas de agua enlazada (Atehortua y Gartner, 2013).

2.2.10 Potencial de adsorción y absorción de contaminantes de la *E. crassipes*

Según Quispe, Arias, Martínez y Cruz (2017), cuyo objetivo de su trabajo fue evaluar la eficiencia en la remoción de metales pesados y parámetros fisicoquímicos con el uso de la especie macrófitas *E. crassipes* y evaluar su crecimiento en función al tiempo y la adaptación a su medio en la laguna de la Universidad Peruana la Unión. Obtuvieron como resultados en un periodo de 2 meses, en primera instancia el crecimiento de las macrófitas se duplicó en un tiempo de 2 semanas, sobre la remoción de metales pesados se obtuvo buenos resultados en la disminución de hasta un 98%, así mismo en

la reducción de los parámetros fisicoquímicos se obtuvo un 31% de eficiencia en la conductividad, oxígeno disuelto, sólidos totales, turbiedad, pH, Temperatura, DBO₅, DQO y fosfatos.

Por otro lado, según Poma y Valderrama (2014), realizaron un estudio para determinar la capacidad de sorción de iones metálicos de cadmio (II) y mercurio (II) con el uso de la especie *E. crassipes*, emplearon la optimización de nutrientes, pH, y la concentración de iones metálicos, toda la parte experimental se llevó a cabo a temperatura ambiente y soluciones acuosas de los metales, a estas soluciones fueron sometidas las muestras de *E. crassipes*. Se inició con la remoción de 5mg/L de los iones metálicos contenidos en 1 litro de solución, los resultados obtenidos de sorción fueron de 16.56% para el Cd (II) y 16.6% de Hg (II), por un periodo de 1 semana.

Según Atehortua y Gartner (2013), la *E. crassipes* considerada para su país una planta invasora, la utilizaron en su investigación para ver los beneficios fitorremediadores por tener la característica de ser altamente hidrofílico la cual la convierte en una buena adsorbente, aquí emplean la planta seca y triturada como material adsorbente de metales pesados como el cromo y plomo en soluciones. Teniendo como conclusiones que la *E. crassipes* como material adsorbente tiene potencial de adsorción muy eficiente para ser usada en la descontaminación de aguas residuales.

2.2.11 Reacción química de la absorción del cadmio con el uso de la *Eichhornia crassipes*

Según Navarro, J., Aguilar, I. y López, J. (2007), los mecanismos celulares de tolerancia de metales pesados en las plantas, se pueden observar en la Figura 9 en el cual se detalla las interacciones internas y externas de la genética molecular.

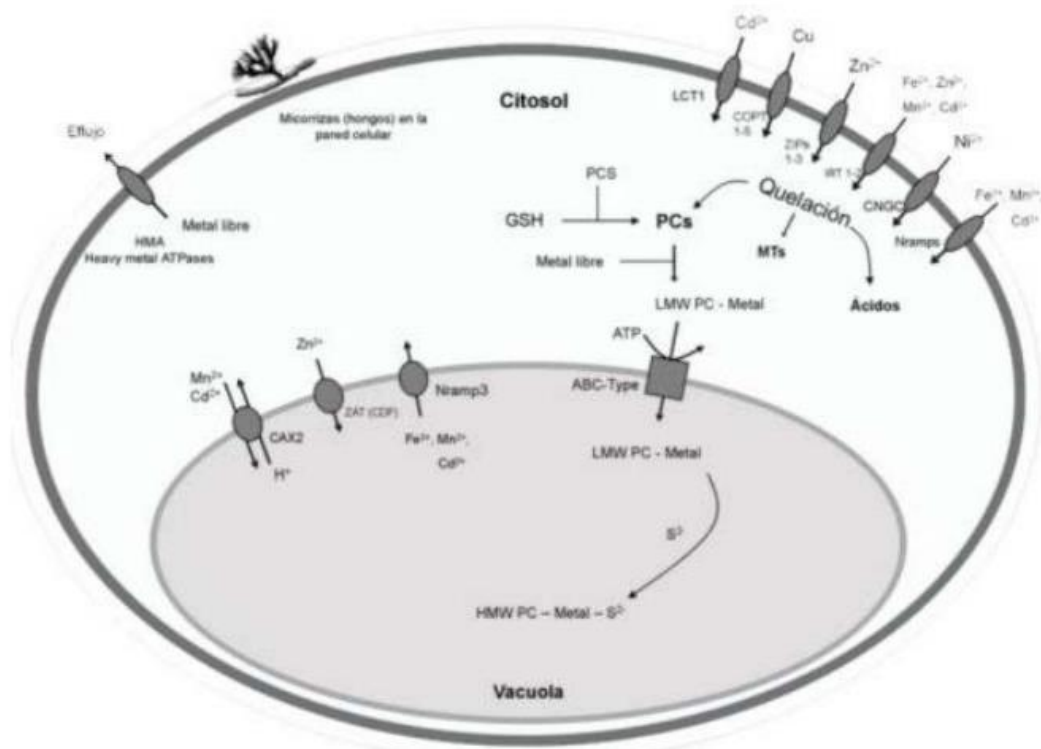


Figura 9. Interacción de los metales pesados con las plantas.

La membrana plasmática necesita que sus caminos metabólicos estén en un buen estado, la producción de ATP mitocondrial, el metabolismo del calcio, la síntesis de proteínas, la regulación del ADN, el glicolisis y el ciclo ácido cítrico o ciclo de Krebs, los dos últimos proporcionan la síntesis de aminoácidos y los equivalentes reducidos, cuya oxidación origina la mayoría de ATP (Navarro, J., Aguilar, I. y López, J., 2007).

La membrana plasmática se ve afectada por los metales pesados, mediante los siguientes mecanismos:

- Oxidación y entrecruzamiento de proteínas
- Inhibición de proteínas de membrana esenciales
- Cambios en la composición y fluidez de los lípidos de la membrana, así como cambios en la permeabilidad.

Todos los mecanismos esencialmente acaban afectando las propiedades eléctricas de la membrana plasmática. Pero la membrana plasmática puede

estar involucrada en la tolerancia a metales pesados reduciendo la captación o estimulando las bombas de flujo de metales que promueven la entrada al citosol.

Hay plantas tolerantes que protegen la membrana de las siguientes maneras:

- Por mecanismo de reparación la cual mantiene la integridad de la membrana plasmática.
- Usando mecanismo de protección como las proteínas de choque térmico, metalotioneína.
- Mejorando el mecanismo de homeostasis del metal
- Promoviendo un influjo reducido por la membrana plasmática
- Promoviendo un eflujo selectivo

Según Navarro, J., Aguilar, I. y López, J. (2007), el proceso de complejación es uno de los aspectos más importantes para la acumulación de metales pesados, es donde se da la interacción de un átomo central, este es un ion metálico con orbitales de valencia vacíos que puede interactuar como ácido de Lewis el cual es un aceptor de electrones y varias bases de Lewis que son los dadores de electrones con pares de electrones libres, más conocidas como complejantes o ligandos. Esta interacción lleva a la formación de un enlace covalente coordinado o dativo. La planta utiliza este mecanismo de complejación en el interior de la célula para amortiguar los metales pesados. La afinidad de los metales pesados con respecto a los grupos funcionales como los sulfidrilo, carboxilos, hidroxilos, fosfatos y radicales aminos.

Con respecto a la especie *Eichhornia crassipes* presentan en gran cantidad grupos hidroxilos en las moléculas celulósicas además de los OH del agua enlazada facilitan a la formación de puentes de hidrogeno.



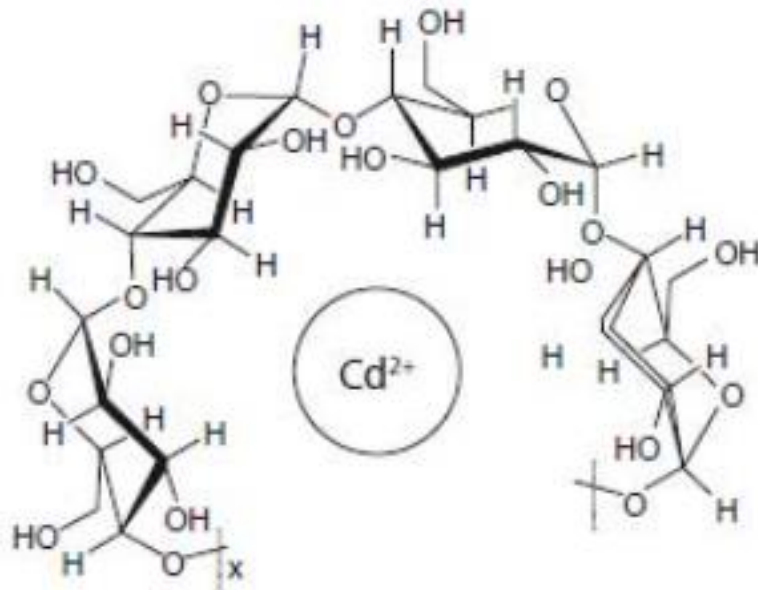


Figura 10. Interacción con los iones de cadmio.

2.2.12 Tratamiento empleado

El uso de plantas es un tratamiento no convencional, que equivale a un tratamiento alternativo, ecoamigable con el medio ambiente. Así mismo el tratamiento aplicado en este presente trabajo sustituye al tratamiento terciario o avanzado que es el de carbón activado esto es debido a que utiliza el proceso de adsorción del contaminante (Bermeo, 2016).

a. Tratamiento terciario

Se emplea cuando el agua tratada no cumple con las normativas ambientales para la descarga, en este caso se aplica un tratamiento terciario, hasta lograr eliminar el compuesto orgánico e inorgánico que afecta la calidad del agua (Bermeo, 2016).

El tratamiento terciario puede tener diferentes fines, como se detalla a continuación:

- Disminución de microorganismos fecales y gérmenes patógenos.

- Disminución de la demanda de oxígeno, mediante el proceso de nitrificación se elimina la nitrogenada.
- Eliminación de metales pesados
- Eliminación de materia orgánica.

Los tratamientos terciarios que se pueden aplicar son:

- Desinfección
- Nitrificación y desnitrificación
- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.
- Adsorción
- Procesos de membrana

b. Adsorción en el tratamiento de aguas para la remoción de *E. crassipes*

La adsorción, es el fenómeno que sucede cuando las moléculas en solución golpean la superficie de un sólido adsorbente y son adheridas a su superficie, de otra fase mediante fuerzas que pueden ser físicas o químicas o ambas. El material concentrado constituye el adsorbato y el material que se encarga de adsorber es el adsorbente (Bermeo, 2016).

Existen 3 tipos de adsorción:

- Física; no es específica y se debe a la acción de fuerzas débiles de atracción entre moléculas como las fuerzas de Van der Waals.
- Química; se da por fuerzas más fuertes, como las que conducen la formación de compuestos químicos.
- Intercambio; se emplea para la describir la adsorción debida a la atracción eléctrica entre el adsorbato y la superficie del adsorbente, como ocurre en el intercambio iónico.

2.3 BASES LEGALES

La calidad de agua depende del uso que se le dé a las aguas del cuerpo receptor, la cual está determinada por:

2.3.1 Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)

Art 35°: El uso del agua se clasifica y ordena según prioridad de la siguiente manera:

- Uso primario;
- Uso poblacional; y
- Uso productivo.

Art 37°: Las características del uso primario del agua, no requiere autorización y se ejerce por la disposición de la Ley. El agua debe ser inocua para el ambiente y a los terceros, este no tiene fin lucrativo y se ejerce de manera gratuita por las personas, bajo responsabilidad propia, restringido a solo medios manuales y se condicionan a que:

- El uso no altere las fuentes del agua en su cantidad y calidad, y
- Su uso no afecte los bienes asociados al agua.

Art 79°: Sobre el vertimiento de agua residual, la Autoridad Nacional autoriza el vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambientales y de las de Salud en función al cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental de Agua y de los Límites Máximos Permisibles. Además, quedo prohibido el vertimiento de forma directa o indirecta del agua residual sin ninguna autorización.

En caso que el vertimiento del agua residual tratada tenga la probabilidad de afectar a la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática o a bienes asociados, según los Estándares de Calidad Ambiental establecidos o según estudios específicos realizados y sustentados científicos, la Autoridad Nacional del Agua puede disponer medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuir el riesgo de afectación a la calidad del agua, que pueden incluir mejores tecnologías, así como la suspensión de autorizaciones que se hubieran otorgado. Si este vertimiento afecta la salud o el modo de vida de la población local, la Autoridad Nacional suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas.

2.3.2 Ley General de Aguas (Ley N° 17752)

Art 22°: Prohibición de emitir o verter cualquier residuo, sólido, líquido o gaseoso, que pueda causar alteración a los cuerpos de agua, daño a la salud humana, el desarrollo de la flora y fauna.

Art 122°: Toda persona o empresa que contamine las aguas superficiales o subterráneas, afectando a la salud de los pobladores, la flora y fauna, será sancionado de acuerdo a lo establecido en el artículo 274° del Código Penal, donde quedan obligados a realizar la remediación y reparar los perjuicios ocasionados.

2.3.3 Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)

Art 1°: La ley que establece principios y normas básicas con el fin de asegurar un adecuado ejercicio del derecho a un ambiente equilibrado y saludable, y también con el cumplimiento de contribuir a una efectiva gestión ambiental, con objetivo de mejorar la calidad de vida de las poblaciones y lograr el desarrollo sostenible del país.

Art 31°: El Estándar de Calidad Ambiental – ECA, se le denomina al nivel de concentración de las sustancias, o parámetros, que están presentes en el aire, suelo o agua, y este se evalúa en el cuerpo receptor.

2.3.4 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Agua

Art 3°: La categoría de los Estándares de la Calidad Ambiental para el Agua, para su aplicación se considera las siguientes precisiones:

- **Categoría 1:** Poblacional y recreacional
- **Categoría 2:** Extracción y cultivo de otras actividades
- **Categoría 3:** Riego de vegetales y bebida de animales

Subcategoría D1: Riego de vegetales, son las aguas utilizadas para el riego de cultivos vegetales, las que, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado, la clase de consumo (cocido o crudo) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que se les puedan someter.

- **Agua para riego no restringido;** Son las aguas cuya calidad permite su uso para riego de cultivos vegetales, las que dependiendo de diversos factores como tipo de riego empleado, clase de consumo a utilizar (cocido o crudo) y los procesos industriales o de transformación a los que pueden ser sometidos los productos agrícolas.
- **Agua para riego restringido;** Son las aguas cuya calidad permite su utilización para el riego: cultivos que se consumen cocidos, cultivos de tallo alto donde el agua no tiene contacto directo con los frutos, cultivos que serán procesados, envasados o industrializados, cultivos industrializados no comestibles, cultivos forestales, forrajes, pastos o similares.

Tabla 2

Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de montañas

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales	
		Agua para riego no restringido (a)	Agua para riego restringido
FÍSICO - QUÍMICOS			
Potencial de hidrogeno	Unidad de pH	6.5 – 8.5	
INORGÁNICOS			
Cadmio	mg/L	0.01	

(a): Riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, aplican solo parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

$\Delta 3$: Variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual dl área evaluada.

2.4 MARCO CONCEPTUAL

Parámetros físicos: Son aquellas sustancias que inciden directamente en las condiciones visuales o estéticas del agua. Los cuales son: turbiedad, color, visibilidad, olor y sabor, temperatura, sólidos (Sierra, 2011).

Parámetros químicos: Los parámetros químicos se dividen en: indicadores en los que se encuentran el pH, conductividad, acidez, alcalinidad, dureza; y se tiene también a las sustancias químicas, como lo son las grasas, detergente, hierro y manganeso, nitrógeno, fosforo, clorofila, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sustancias toxicas (Sierra, 2011).

Parámetros biológicos: En el cuerpo de agua se puede encontrar variedad de microorganismos, entre patógenos (causan problemas a la salud) y no patógenos (no causa ningún daño al ser humano). Los microorganismos presentes en cuerpos de agua son bacterias, los virus, las algas, hongos y algunos protozoos. Algunos son: Coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos totales (Sierra, 2011).

Adsorción: Es la acción y el efecto de adsorber (Real Academia Española, 2017). La adsorción se puede dar de manera positiva y negativa, se da de manera física cuando las interacciones moleculares son de corto alcance entre el adsorbente y el adsorbato (Arias, Paternina y Barragán, 2009).

Este término deriva de la capacidad que tienen las sustancias húmicas y arcillas del suelo para enlazar o unir aniones y cationes, otro caso es da cuando una especie química puede ser adsorbida electrostáticamente (Gutiérrez, 2015).

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo se basó en la problemática ambiental respecto a la contaminación del agua de San Mateo de Huanchor ubicado en la provincia de Huarochirí altura del Km 92 al 95, a la ribera del río Rímac, con coordenadas UTM 11° 44' 34" S y 76° 17' 13.12181" W, donde se realizó el monitoreo de agua (Figura 11).

Respecto a la delimitación espacial de la investigación se tuvo la elección de los puntos de muestreos del agua en el río, se tomó la muestra en la época donde el caudal es regular, contando un caudal abundante.

La parte experimental del presente trabajo se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, ubicada en el Sector 3 Grupo 1ª 03, Av. Central con Av. Revolución, en el distrito de Villa el Salvador, Lima (Figura 12).

Los análisis iniciales y finales fueron realizados por el Laboratorio de Agua, Suelos y Medio Ambiente y Fitorriego (LASMAF) de la Facultad de Ingeniería Agrícola (Figura 13). Ubicada en la Av. La Molina s/n – La Molina. Apartado 12-056, Lima-Perú.

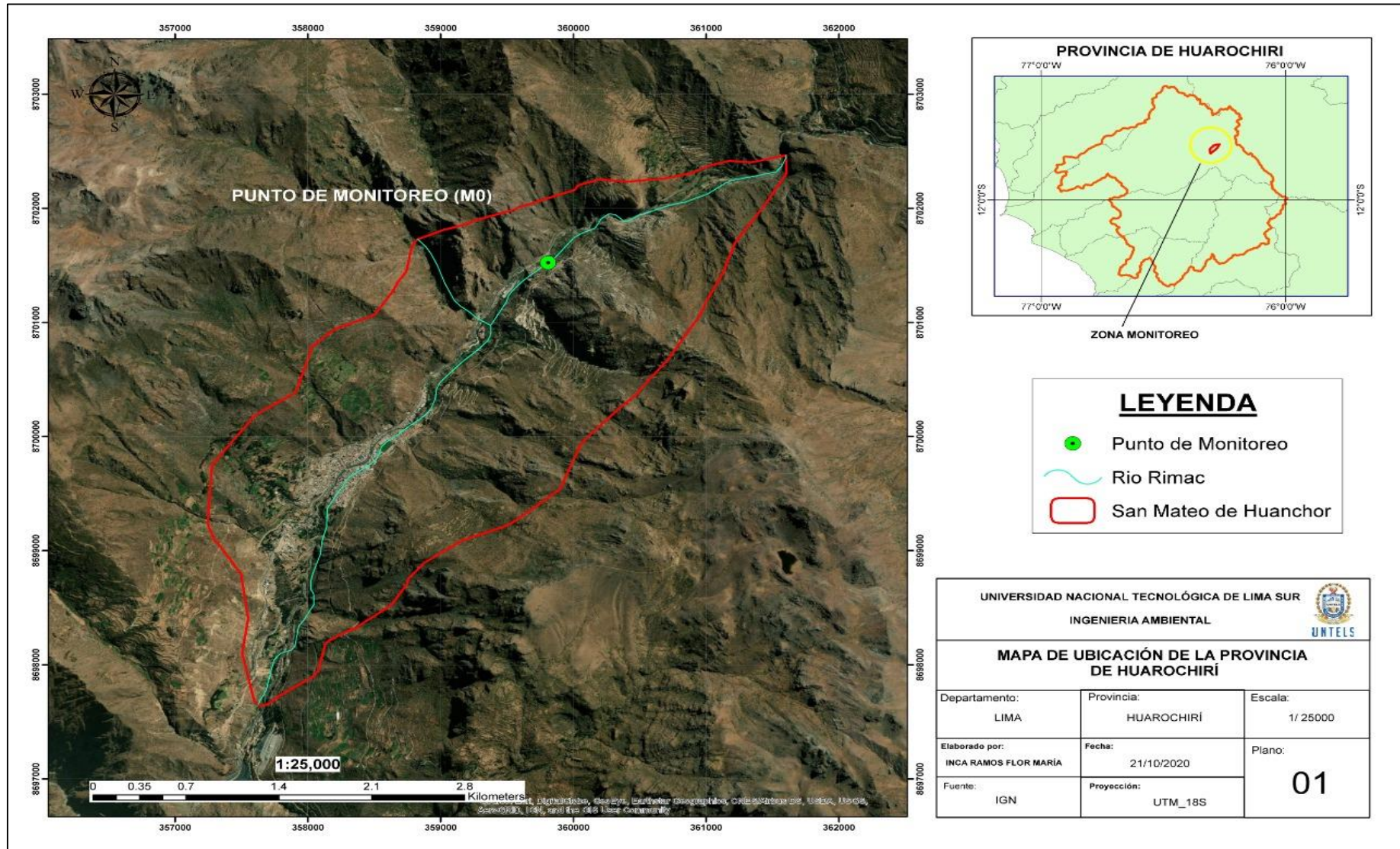


Figura 11. Ubicación de la Zona de Estudio

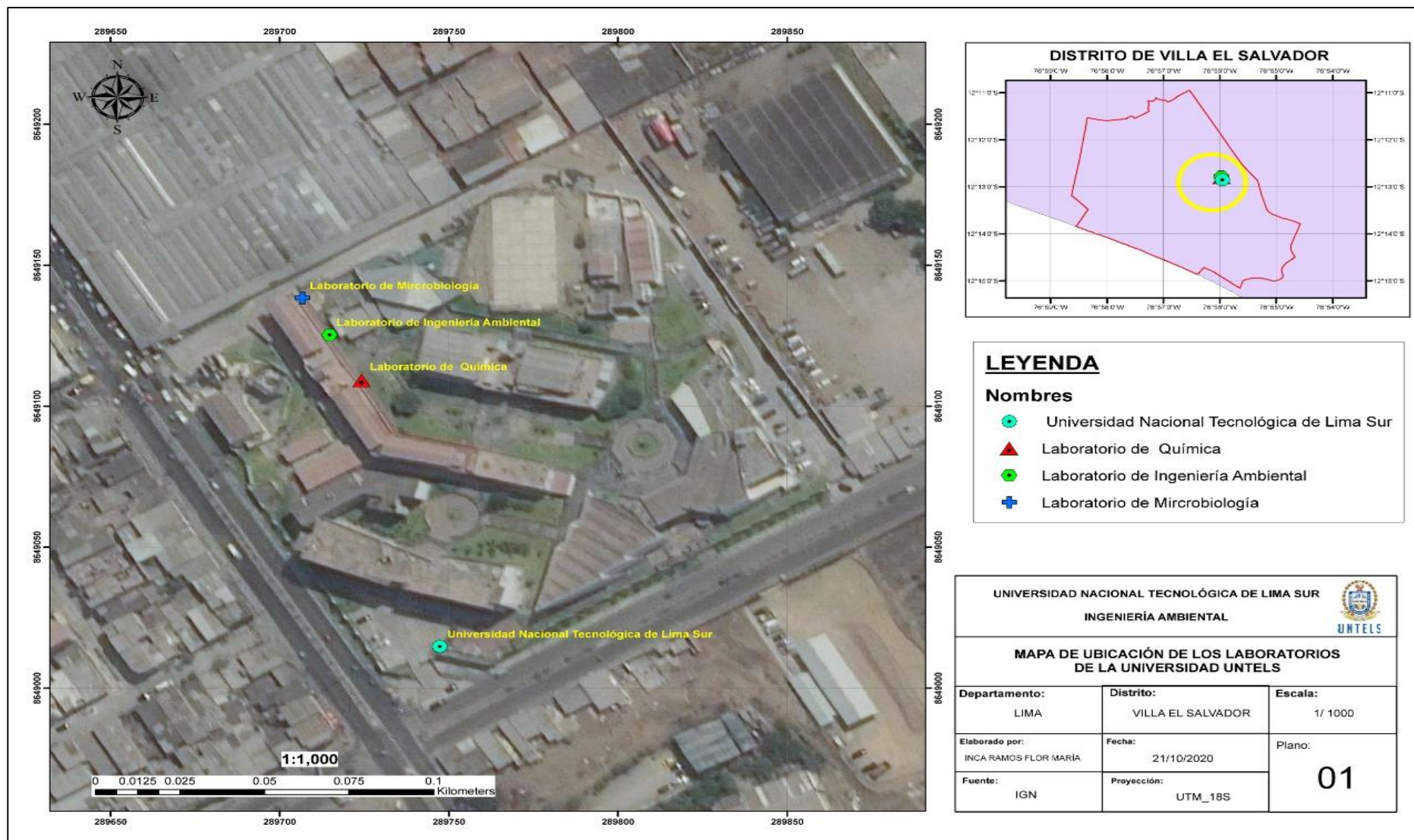


Figura 12. Ubicación del lugar de Experimentación

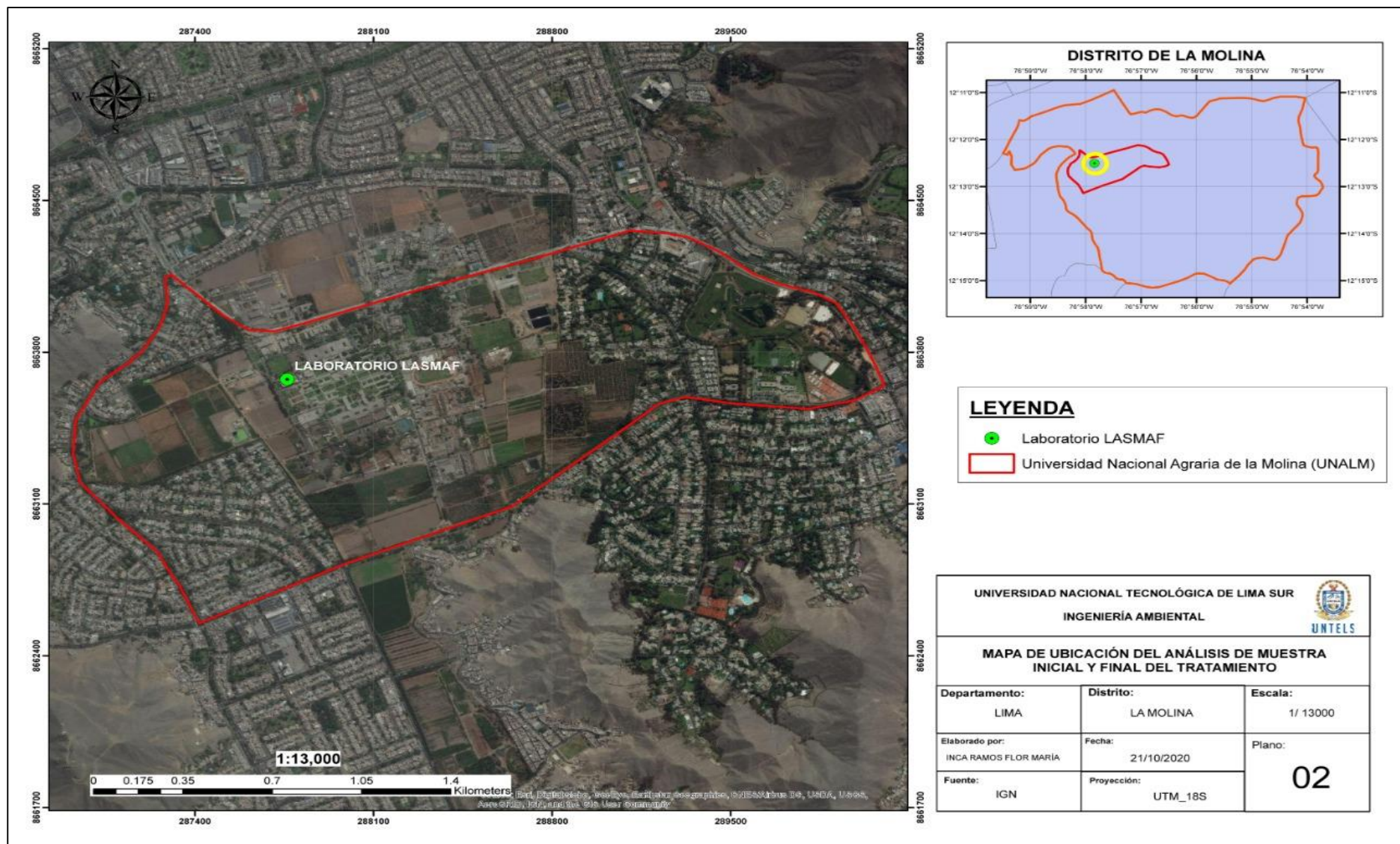


Figura 13. Ubicación del lugar de Análisis en Laboratorio

La delimitación temporal del trabajo de suficiencia profesional se llevó a cabo en un periodo de 6 meses, del 2020.

3.2 DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El agua es un recurso renovable que satisface la demanda de las necesidades de la población en el ámbito doméstico como industrial, también ejerce influencia en los ciclos naturales y en el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos. Pero en la actualidad, la escasez de agua se observa frecuentemente en diversas partes del mundo, además muchos centros poblados no cuentan con acceso al servicio de agua potable, debido a que no se da abasto por diversos motivos, algunos de ellos son: el crecimiento demográfico, el uso inadecuado del territorio en donde se da prioridad al uso urbano y ahí se da la desigualdad en los cascos urbanos y la fuente de recurso hídrico, el cual genera una desigualdad en la distribución del agua. A eso le agregamos los efectos del calentamiento global el cual es uno de los principales temas en la agenda ambiental nacional como internacional, que afecta a las reservas que se tiene de agua dulce, en Perú se han visto graves consecuencias, por ejemplo, el deshielo de la Cordillera de los Andes, cambios en el clima, heladas extremas o intenso calor, etc.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2014), indicó en el Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos en el Perú 2000 – 2012, de acuerdo a la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de Recursos Hídricos 2016, la Autoridad Nacional del Agua identificó que en cuarenta y un unidades hidrográficas los parámetros de calidad exceden los estándares de calidad de agua, determinando como la causa principal el vertimiento de aguas residuales tanto industriales, domésticas y municipales. El diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos del Perú, que se desarrolló en un periodo de abril del 2010 a diciembre del 2012, dieron como resultado que 35 de 159 unidades hidrográficas se encuentran superando los valores del Estándar de Calidad del Agua aprobados del año 2008, correspondiente a la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA, entre los parámetros excedentes se tiene al pH, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes, arsénico, mercurio, cadmio, plomo y hierro; estos valores se

encuentran relacionados directamente al vertimiento de aguas residuales no autorizados, pasivos ambientales, residuos sólidos y factores geológicos, ambientales e hidrológicos que con condiciones naturales.

El Banco Mundial desarrolló en Perú un estudio en el 2014, como resultado del estudio se concluyó que más de cincuenta recursos hídricos del país no cumplen con los estándares de la calidad del agua para las categorías de consumo humano, tomando en cuenta las áreas rurales se puede observar que están expuestas a consumir aguas que no tienen una apropiada calidad y que debido a eso aproximadamente el 8% de las muertes por diversos factores relacionadas a la salud ambiental se dan por la falta de acceso al agua potable, sanidad e higiene. En el 2010 la Organización Mundial de la Salud (OMS) realizó la publicación de una relación de contaminantes que son perjudiciales para la salud pública, una relación de diez contaminantes en el cual se encuentran los principales metales pesados como el plomo, mercurio, cadmio y arsénico.

Asimismo, en el 2019 el Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades del Ministerio de Salud (MINSU), indicaron a la minería como la principal fuente de contaminación de los recursos hídricos por metales pesados, excluyendo al arsénico debido a que este tipo de contaminación se da de manera natural.

El cadmio afecta a diversas partes del organismo humano, un efecto de su toxicidad causa daños en los riñones y en el sistema respiratorio y óseo, además de ser considerado carcinógeno para el ser humano. Es por eso la importancia de buscar soluciones para mejorarla calidad de agua y así mejorar la calidad de vida de la población. Además, los metales pesados se acumulan en la cadena trófica de las plantas, y es ahí por donde ingresa al organismo humano causando en un periodo largo daño a la salud de la población.

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales, reactivos y equipos de laboratorios utilizados en el presente trabajo fueron:

3.3.1 Materiales de laboratorios

- Vasos precipitados en 1000 ml
- Matraces de 1000 ml
- Pastillas magnéticas
- Papel filtro
- Mortero
- Malla tamiz N° 80
- Embudos
- Papel aluminio
- Pizeta
- Guantes quirúrgicos

3.3.2 Materiales de campo

- Botellas de polietileno de 1000 ml
- Rotuladores
- Cinta
- Indumentaria de Seguridad (Camisa, pantalón, casco, guantes, botines de seguridad)
- GPS

3.3.3 Reactivos

- Ácido Nítrico
- Agua destilada

3.3.4 Equipos de laboratorio

- Balanza analítica
- Termómetro digital
- pHmetro
- Agitador magnético

- Estufa

3.4 VARIABLES

3.4.1 Variable independiente

$X_1 = \text{Concentración } \frac{\text{g de } \textit{Eichhornia crassipes}}{\text{L de agua contaminada}}$

$X_2 = \text{Tiempo de agitación}$

3.4.2 Variable dependiente

$Y = \text{Reducción de la concentración de cadmio}$

3.5 METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO

El trabajo se realizó siguiendo la metodología planteada en la Figura 14:

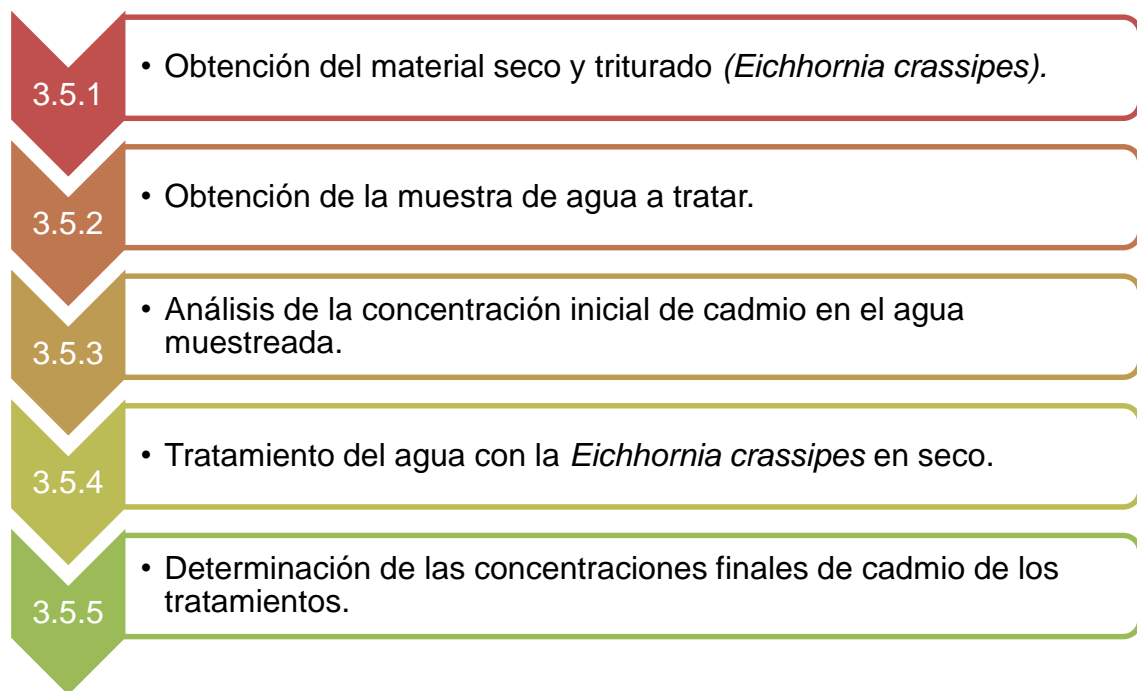


Figura 14. Flujo grama de modelo de solución propuesto

3.5.1 Obtención del material seco y triturado (*Eichhornia crassipes*)

- a. Se recolectó la planta *E. crassipes* de estanques (Figura 15) ubicados en el distrito de Pachacamac en la cual se proliferó con el tiempo, siguiendo un proceso de selección de las de mayor tamaño del estanque, la cual refleja grandes volúmenes a simple vista.



Figura 15. *Recolección de las plantas Eichhornia crassipes*

- b. Se procedió a realizar un drenado estático (Figura 16), mediante el secado a la temperatura ambiente por el periodo de 2 días (48 horas).



Figura 16. *Drenado estático de las plantas Eichhornia crassipes a temperatura ambiente*

- c. Se colocó *E. crassipes* partida por la mitad sobre papel aluminio, como se observa en la Figura 17.



Figura 17. Colocación en papel aluminio de las plantas picadas de *Eichhornia crassipes* drenadas

- d. En el laboratorio, se procedió a realizar el secado a 105°C (Figura 18) haciendo uso de la estufa por un periodo de 2 horas.



Figura 18. Colocación de las muestras en la estufa

- e. Posteriormente se procedió a retirar la muestra (Figura 19).



Figura 19. Retiro de *E. crassipes* seca de la estufa

- f. Se realizó el molido de manera manual utilizando el mortero (Figura 18).



Figura 20. Molido de *E. crassipes* seca

- g. Para separar el material y para tener un tamizado regular con diámetros del material seco entre 0.18 a 0.84 mm, se utilizó una malla N° 80 para realizar el tamizado.
- h. Se procedió a guardar el material obtenido para ser utilizado en el tratamiento.

3.5.2 Obtención de la muestra de agua a tratar

Para la obtención de la muestra de agua del río Rímac, se procedió a seguir el protocolo de monitoreo de agua aprobado con la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (Anexo 11) la cual se detalla a continuación:

- a. Se ubicó el punto de muestreo (Figura 21), para ello se hizo la identificación, utilizando un Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), el mismo que registro en coordenadas UTM y en el sistema WGS84.



Figura 21. *Vista a la ribera del río Rímac*

- b. Se observó la accesibilidad (Figura 22), es decir que permita un rápido y acceso seguro al lugar establecido para tomar la muestra.



Figura 22. Zonas de acceso al lugar de monitoreo

- c. Se consideró la representatividad de la muestra (Figura 23), se evitó zonas de turbulencias, para evitar eso se eligió un punto en donde el caudal es lo más regular, accesible y uniforme en profundidad.



Figura 23. Elección del punto de monitoreo

- d. Para realización del muestreo se utilizó la ficha de registro de campo (Anexo 3), frascos de polietileno blanco y la indumentaria de protección personal: camisa, pantalón, casco, lentes de seguridad, guantes, mascarilla y botines de seguridad.



Figura 24. *Indumentaria de protección personal en campo*

- e. Para el muestreo, el procedimiento que se llevó a cabo fue abrir el frasco y sumergirlo a unos 20cm por debajo de la superficie y luego se preservó (Figura 25). Para brindar una mayor seguridad en la preservación de la muestra se encintó la boquilla para evitar cualquier tipo de derrame.



Figura 25. Monitoreo de agua del río Rímac

- f. Se procedió a realizar el rotulado o etiquetado de los frascos (Figura 26) (número de muestra, código de identificación, origen de la fuente, fecha y hora del muestreo, tipo de análisis requerido, nombre del responsable de muestreo), con letra legible y clara.



Figura 26. Rotulación de la muestra

3.5.3 Análisis de la concentración inicial de cadmio en el agua muestreada

- a. El análisis de la concentración de cadmio inicial se realizó en la Universidad Nacional Agraria la Molina.

- b. El proceso empleado para la determinación inicial de la concentración de Cadmio en las aguas del río Rímac por el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria la Molina es la Espectrometría de Absorción Atómica.

3.5.4 Tratamiento del agua contaminada con cadmio con el uso de la *Eichhornia crassipes* en seco

La evaluación de la capacidad de adsorción del material triturado (*E. crassipes* en seco), se realizó como se describe a continuación:

Para la determinación las cantidades adecuadas de material triturado, se utilizó como base la investigación de Atehortua y Gartner (2013), quienes en su metodología para la reducción de plomo y cromo emplean el uso de concentraciones del 0.5g, 1g y 2g por litro de solución, obteniendo resultados favorables de reducción de concentración de los metales en mención.

- a. Antes de iniciar el procedimiento se realizó la medición del pH inicial haciendo uso del pHmetro.



Figura 27. Medición del pH de la muestra antes de realizar el tratamiento

b. Se realizó el tratamiento explicado en la Tabla 3.

Tabla 3

Tratamientos evaluados

Codificación de muestra	Relación de concentración de $\frac{\text{g de } Eichhornia crassipes}{\text{L de agua contaminada}}$	Tiempo de agitación (minutos)
M1	$\frac{0.5\text{g de } Eichhornia crassipes}{1\text{L de agua contaminada}}$	15
M2	$\frac{1\text{g de } Eichhornia crassipes}{1\text{L de agua contaminada}}$	15
M3	$\frac{2\text{g de } Eichhornia crassipes}{1\text{L de agua contaminada}}$	15
M4	$\frac{0.5\text{g de } Eichhornia crassipes}{1\text{L de agua contaminada}}$	30
M5	$\frac{1\text{g de } Eichhornia crassipes}{1\text{L de agua contaminada}}$	30
M6	$\frac{2\text{g de } Eichhornia crassipes}{1\text{L de agua contaminada}}$	30
M7	$\frac{0.5\text{g de } Eichhornia crassipes}{1\text{L de agua contaminada}}$	45
M8	$\frac{1\text{g de } Eichhornia crassipes}{1\text{L de agua contaminada}}$	45
M9	$\frac{2\text{g de } Eichhornia crassipes}{1\text{L de agua contaminada}}$	45

c. Se realizó tres veces el pesaje de 0.5 gramos, 1 gramo y 2 gramos de *E. crassipes* respectivamente, molida y tamizada haciendo uso de la balanza analítica.

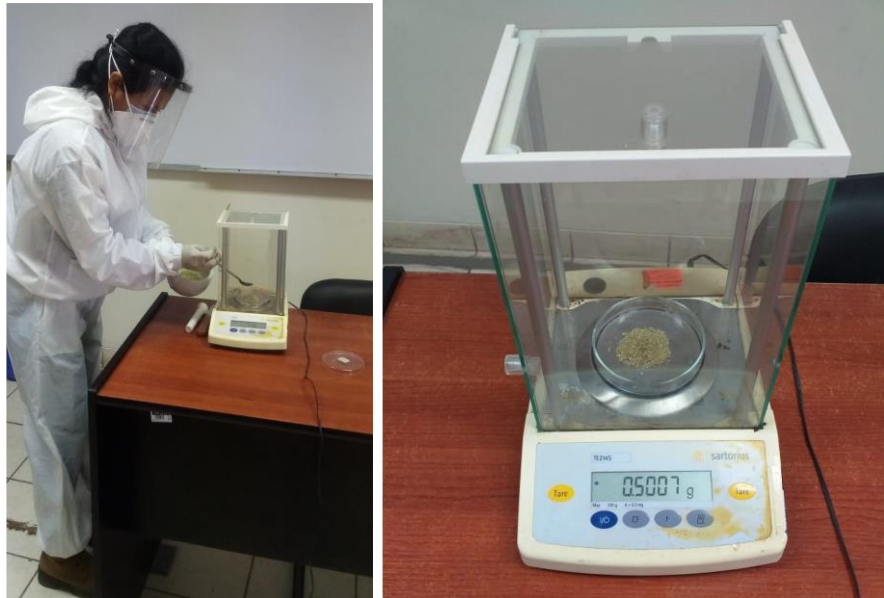


Figura 28. *Pesaje de E. crassipes en la balanza analítica*

- d. Se colocó la pastilla magnética al fondo del vaso precipitado y se agregó 1000 ml del agua de río a tratar, se realizó 9 veces este procedimiento para realizar el tratamiento.



Figura 29. *Colocación de la pastilla magnética y agua de río en el vaso precipitado*

e. Se vertió la *E. crassipes* seca en el vaso precipitado y se colocó sobre el agitador magnético a 50rpm.

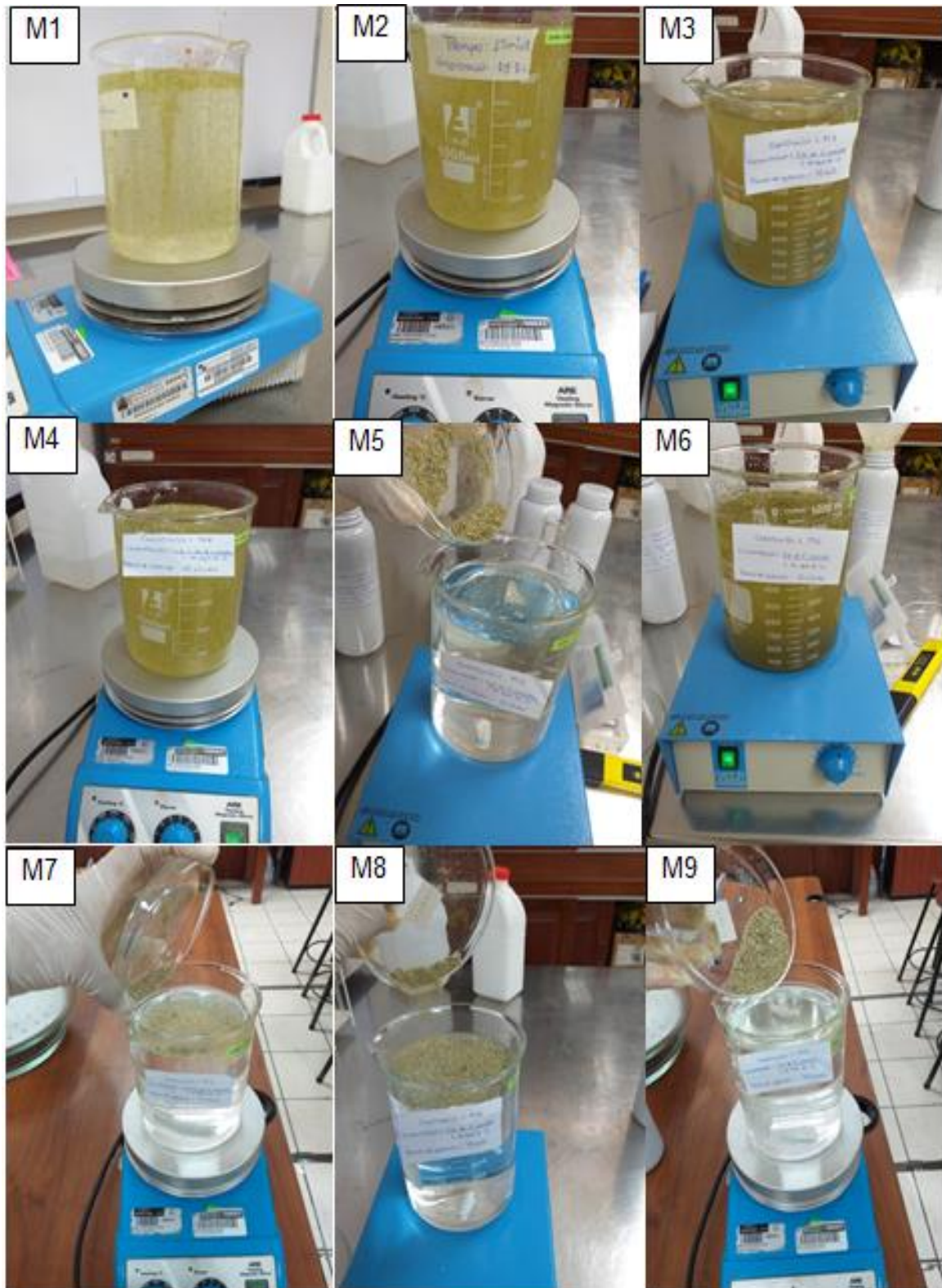


Figura 30. Agitación magnética de los 9 tratamientos evaluados.

f. Se realizó la filtración de del agua tratada para cada tratamiento.

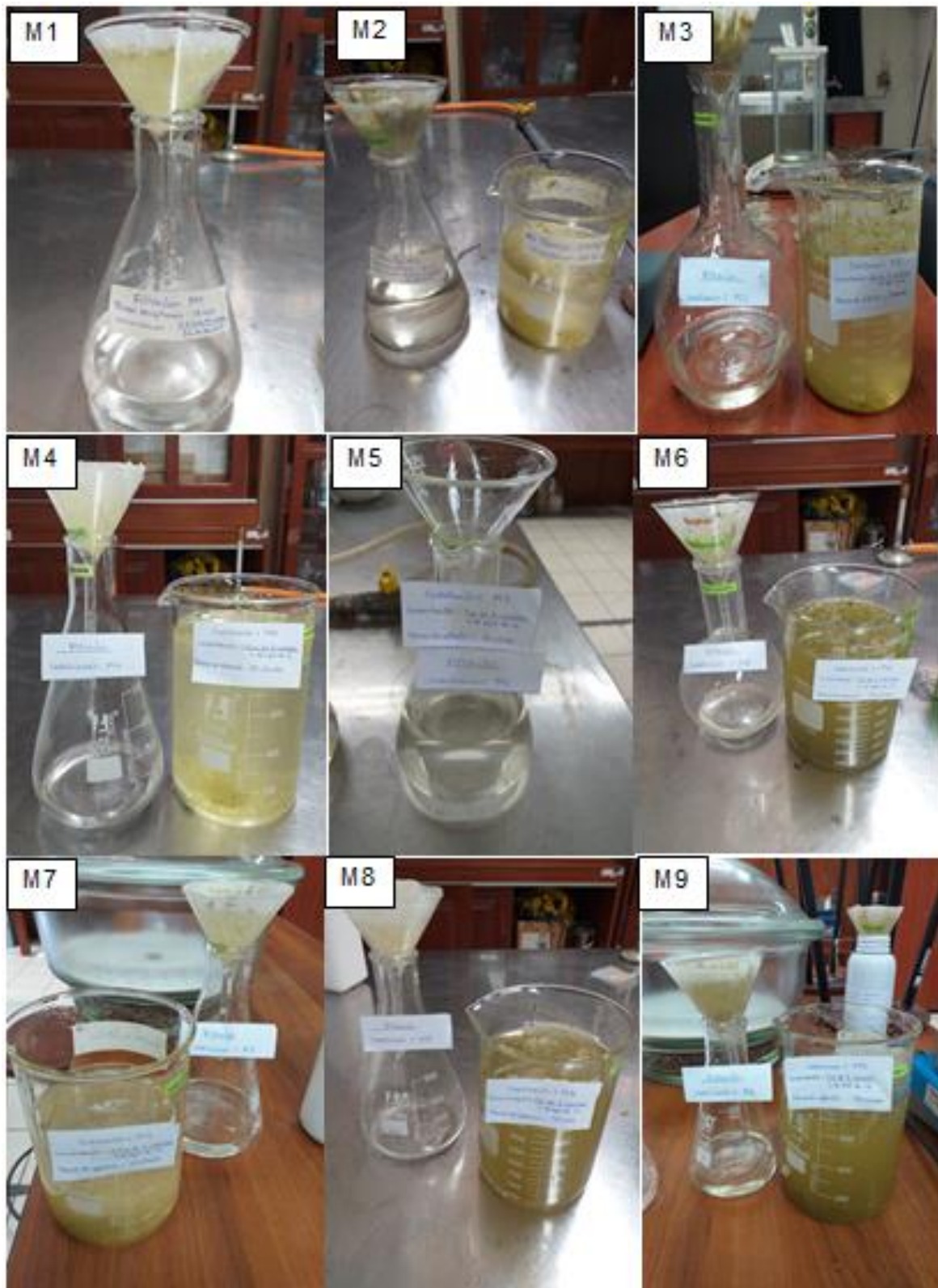


Figura 31. Filtración de los 9 tratamientos evaluados.

g. Se midió los pH finales de los 9 tratamientos realizados.



Figura 32. Medición del pH de los tratamientos evaluados.

- h. Se vertió cada agua filtrada de los tratamientos en botellas blancas limpias, en la cual se realizó el etiquetado correspondiente.



Figura 33. *Llenado al envase y rotulación de los tratamientos evaluados*

3.5.5 Análisis final de la concentración de cadmio

- a. Se procedió a trasladar las muestras finales al Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente, Fitorriego de la Universidad Nacional Agraria la Molina para analizar la concentración del cadmio final presente en el agua, el equipo utilizado es el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

4.1.1 Comportamiento del pH en la reducción de concentración de cadmio.

Antes de iniciar los tratamientos se midió el pH en el cual se obtuvo un valor de 7.10, al concluir cada tratamiento se procedió a realizar la medición de los pH finales y como resultado se obtuvo que estos oscilan entre 6.6 y 7.43 (Figura 34), cuya variación no es significativa.

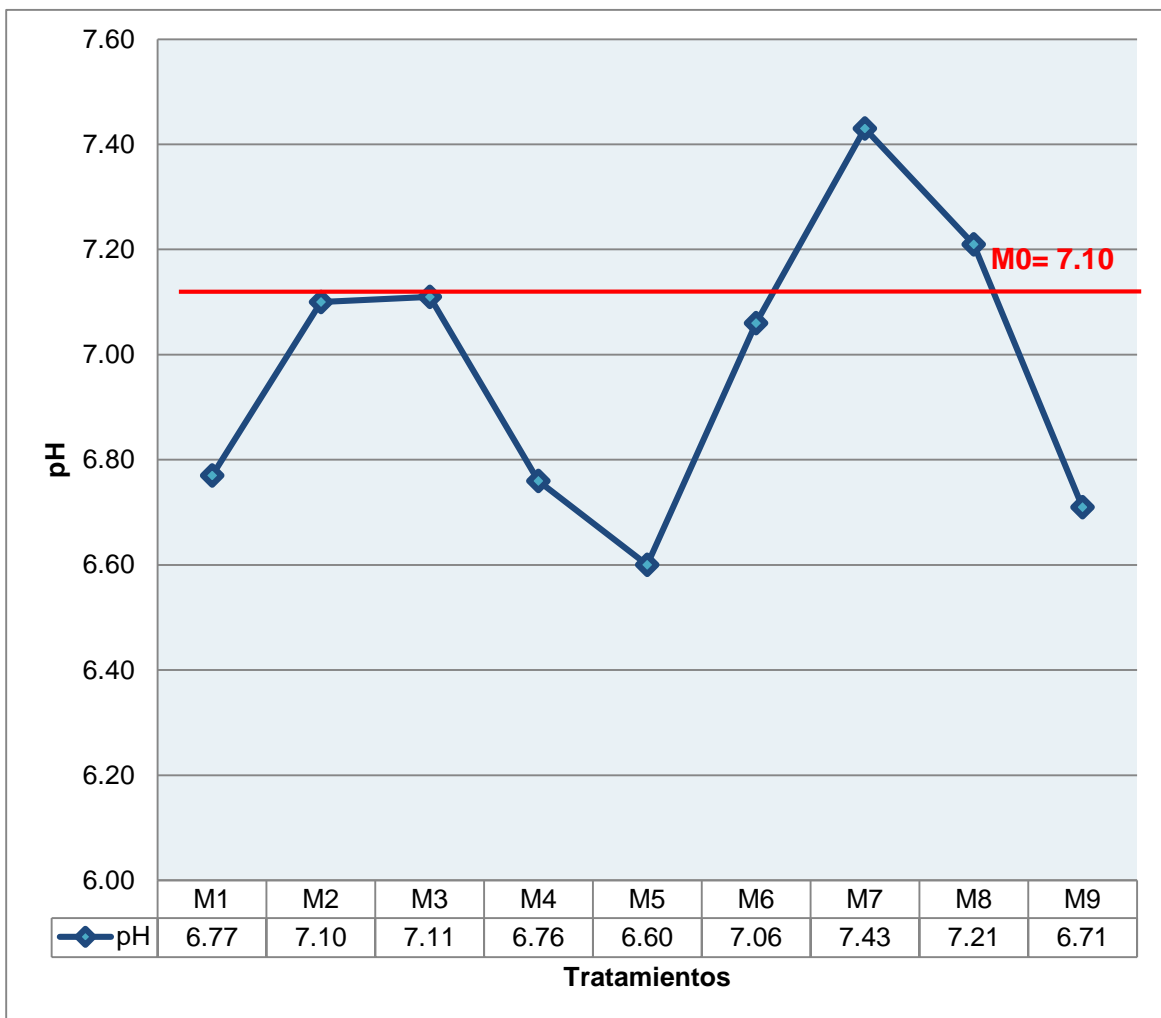


Figura 34. Variación del pH

- Varianza = 0.0669
- Desviación Estándar= 0.2744

Según la Figura 34 se interpreta que la variación del pH en los diferentes tratamientos oscila entre los valores del 6.6 y 7.43 las cuales se encuentran dentro del valor óptimo, además que en relación a su varianza no es significativa es decir que no varía drásticamente y no posee valores anómalos.

4.1.2 Concentración de Cadmio

Las concentraciones iniciales y finales se determinaron por el método de adsorción atómica en el cual determinaron que la remoción de la concentración de Cadmio es efectiva. Inicialmente se contaba con una concentración de Cadmio de 0.207 y después de aplicado los 9 tratamientos se obtuvieron como resultado, la mayor concentración obtenida fue de 0.068 y las mínimas y más efectivas fueron de 0.006 y 0.005, las cuales se encuentran muy por debajo de los valores descritos en los Estándares de la Calidad Ambiental del agua.

En la Tabla 4 se encuentra los resultados obtenidos de la cuantificación del Cadmio (Cd).

Tabla 4

Valores de concentración de Cadmio finales

Código del tratamiento	Concentración de <i>E. crassipes</i>	Tiempo de agitación (mint)	Concentración final de Cadmio (mg/L)
M0	0	0	0.207
M1	0.5	15	0.068
M2	1	15	0.054
M3	2	15	0.045
M4	0.5	30	0.026
M5	1	30	0.021
M6	2	30	0.018
M7	0.5	45	0.011
M8	1	45	0.006
M9	2	45	0.005

En la Tabla 4 se puede observar la reducción de la concentración de cadmio con relación a la concentración de *E. crassipes* empleado y el tiempo de tratamiento se reduce a medida que las concentraciones son mayores.

4.2 RELACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN DE LA *E. crassipes* EN SECO CON LA REDUCCIÓN DE CADMIO

La capacidad de adsorción de la *E. crassipes* en seco es directamente proporcional a la reducción de cadmio, esto es que a medida que se utilice en el tratamiento una mayor concentración de *E. crassipes* se obtendrá un mayor porcentaje de reducción de cadmio. Este resultado se obtuvo al aplicar el estadístico MINITAB, en el cual se realizó la regresión de superficie respuesta y se obtuvo lo que a continuación se detalla.

4.2.1 Regresión de superficie de respuesta: % de adsorción vs. Concentración de *E. crassipes*; Tiempo de agitación

El análisis se realizó utilizando unidades codificadas.

Tabla 5

Coeficientes de regresión estimados de % de adsorción de Cadmio

Término	Coef	SE Coef	T	P
Constante	91.352	0.9774	93.459	0.000
Concentración <i>E. crassipes</i> seca	2.977	0.4875	6.107	0.009
Tiempo de agitación (mint)	11.456	0.4918	23.295	0.000
Concentración <i>E. crassipes</i> seca*	-2.114	0.9673	-2.185	0.117
Concentración <i>E. crassipes</i> seca*				
Tiempo de agitación (mint)* Tiempo de agitación (mint)	-4.752	0.8443	-5.628	0.011
Concentración <i>E. crassipes</i> seca*				
Tiempo de agitación (mint)	-1.969	0.5863	-3.358	0.044

- S = 1.19402
- PRESS = 51.2923
- R-cuad. = 99.54%
- R-cuad. (pred.) = 94.53%
- R-cuad. (ajustado) = 98.78%

En la Tabla 5 indica que los términos empleados poseen significancia debido a que poseen $P < 0.05$ a excepción de la Concentración de *E. crassipes* al cuadrado que posee un $P = 0.117$

Por lo tanto, al obtener un R- cuadrado de 97.53% nos indica que el tratamiento es efectivo y significativo. La reducción de Cadmio se da de manera apropiada.

Tabla 6

Análisis de varianza del % de adsorción de Cadmio

Fuente	GL	SC Sec	SC Ajust	MC Ajust	F	P
Regresión	5	933.804	933.804	186.761	131.00	0.001
Lineal	2	865.761	826.822	413.411	289.97	0.000
Cuadrado	2	51.965	51.965	25.982	18.22	0.021
Interacción	1	16.078	16.078	16.078	11.28	0.044
Error residual	3	4.277	4.277	1.426		
Total	8	938.081				

En la Tabla 6 se observa la interacción que tienen los factores, en el cual todos los factores regresión, lineal, cuadrado poseen significancia debido a que sus valores son $P < 0.05$

4.2.2 Coeficientes de regresión estimados de % de adsorción de Cadmio utilizando datos en unidades sin codificar

Al analizar estadísticamente los datos obtenidos como resultados se obtiene el coeficiente de regresión estimado de % de adsorción de cadmio, como se puede observar en la Tabla 7, el cual es el modelo matemático de una ecuación con el que se podría conocer las concentraciones adecuadas de la *Eichhornia crassipes* y el tiempo de agitación para la reducción ideal de la concentración de cadmio presente en aguas contaminadas.

Tabla 7

Coeficientes de regresión estimados de % de adsorción de Cadmio

Término	Coeficiente
Constante	32.0372
Concentración <i>E. crassipes</i> seca	18.6133
Tiempo de agitación (mint)	2.24961
Concentración <i>E. crassipes</i> seca* Concentración <i>E. crassipes</i> seca*	-3.75778
Tiempo de agitación (mint)* Tiempo de agitación (mint)	-0.0211185
Concentración <i>E. crassipes</i> seca* Tiempo de agitación (mint)	-0.175

Como resultado se obtiene una ecuación base con la cual se podrá trabajar a diferentes condiciones para obtener una reducción de cadmio adecuada.

$$\begin{aligned}
& \% \text{ reducción de la concentración de Cadmio} \\
& = 32.0372 + 18.6133(\text{Concentración de la } E. \text{ crassipes en seco}) \\
& + 2.24961(\text{Tiempo de agitación}) \\
& - 3.75778(\text{Concentración de la } E. \text{ crassipes en seco})^2 \\
& - 0.0211185(\text{Tiempo de agitación en mint})^2 \\
& - 0.175(\text{Concentración de la } E. \text{ crassipes en seco})(\text{Tiempo de agitación})
\end{aligned}$$

Donde:

- Concentración de la *E. crassipes* en seco
(*mg de E. crassipes* / *L de la solución de agua*)
- Tiempo de agitación en minutos

Al graficar la relación entre el % de adsorción vs el tiempo de agitación y la concentración inicial de la *E. crassipes* en seco se obtiene la Figura 35, en la cual se puede observar la relación que tienen las variables analizadas.

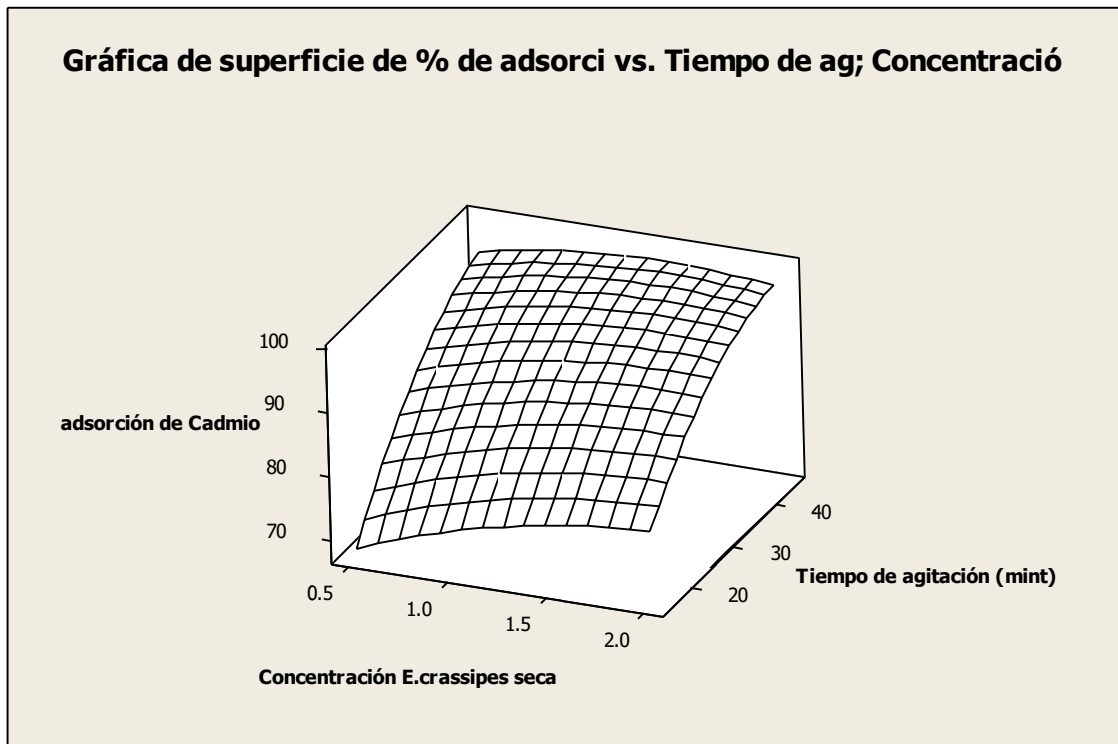


Figura 35. Gráfica de superficie del % de adsorción vs el tiempo de agitación y la concentración inicial de la *E. crassipes* en seco

La figura 35, nos indica que a medida que se incrementa la concentración de *E. crassipes* seca y el tiempo de agitación, se obtiene una mayor adsorción de cadmio. En los tratamientos en que se utilizaron concentraciones de *E. crassipes* de 1g y 2g y tiempos de agitación de 30min y 45min respectivamente, en los resultados tienen una ligera diferencia de % de reducción, lo que indica que desde el tratamiento M8 los resultados son óptimos, así mismo estos dos últimos resultados se encuentran por debajo de 0.01 el cual es el valor establecido en el ECA de agua.

4.3 EFICIENCIA EN LA REDUCCIÓN DE CADMIO CON EL USO DE LA *E. crassipes* EN SECO

Para la eficiencia en la reducción de cadmio con el uso de *E. crassipes* en seco se utilizó la herramienta Optimización de respuesta de MINITAB, en el cual se obtuvo los siguientes resultados:

- **Optimización de respuesta del Máximo**

Al analizar la optimización de respuesta del máximo en la Tabla 8, el modelo matemático nos da a conocer las concentraciones adecuadas de la *Eichhornia crassipes* y el tiempo de agitación para la reducción máxima ideal de la concentración de cadmio presente en aguas contaminadas.

Tabla 8
Optimización de respuesta del Máximo

Parámetros	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importar
% de adsorción de cadmio	Máximo	67.15	97.58	97.58	1	1

- Solución global:
 Concentración = 1.42424
 Tiempo de agitación = 45

- Respuestas pronosticadas
 % de adsorción = 98.1762
 Conveniencia = 1.000000
 Conveniencia compuesta = 1.000000

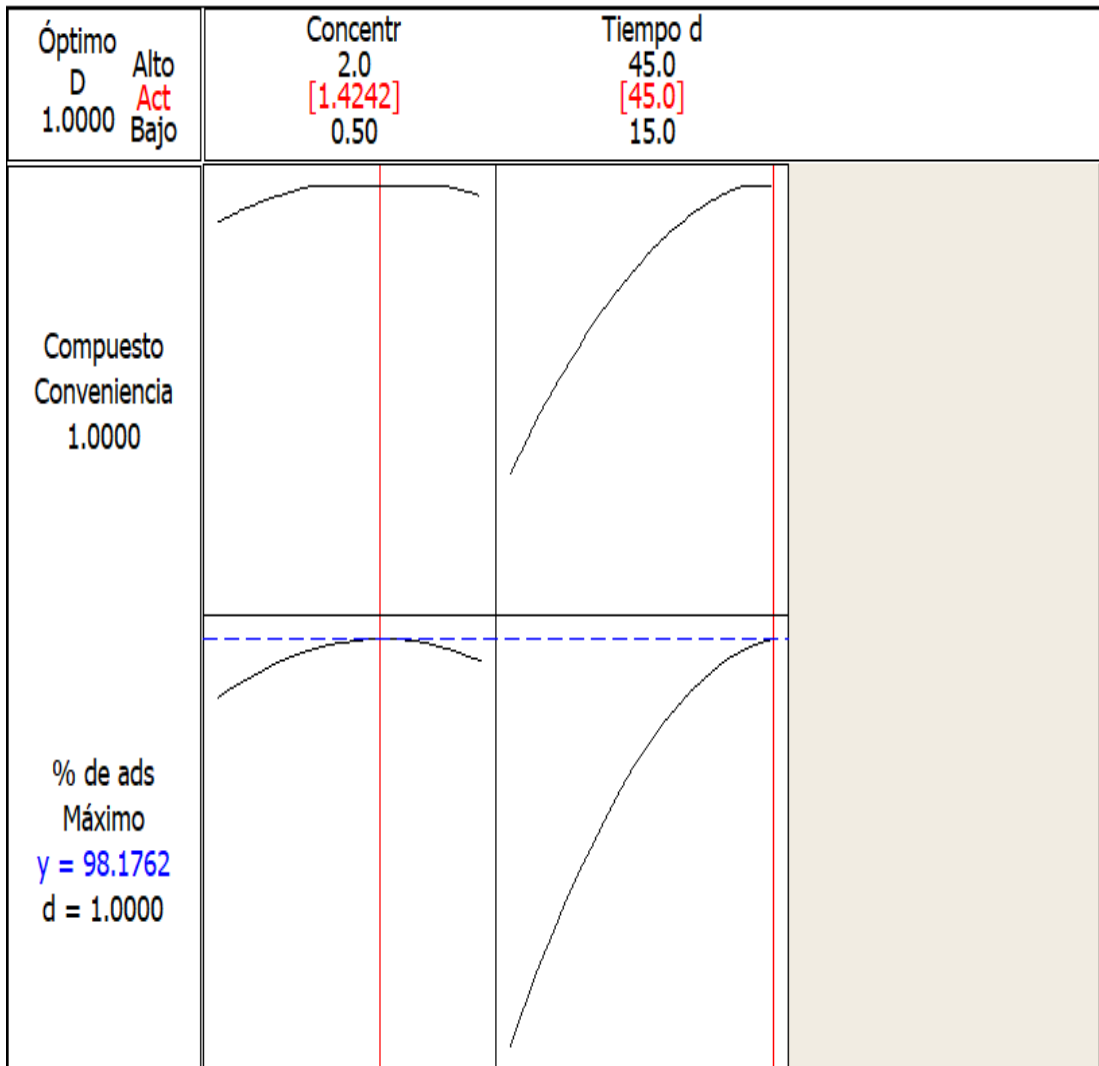


Figura 36. Optimización de respuesta de la máxima adsorción de cadmio

La optimización de respuesta del máximo nos indica el valor más alto de adsorción de cadmio, y pronostica estadísticamente que a una concentración

de 1.42424g de *E. crassipes* seco y con un tiempo de agitación 45 minutos, se obtendrá una reducción del 98.1762% de cadmio como se puede observar en la Figura 36.

- **Optimización de respuesta del Mínimo**

Al analizar la optimización de respuesta del mínimo en la Tabla 9, el modelo matemático nos da a conocer las concentraciones adecuadas de la *Eichhornia crassipes* y el tiempo de agitación para la reducción mínima de la concentración de cadmio presente en aguas contaminadas.

Tabla 9
Optimización de respuesta del Mínimo

Parámetros	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importar
% de adsorción de cadmio	Mínimo	67.15	67.15	97.58	1	1

- Solución global
 Concentración = 0.5
 Tiempo de agitación = 15
- Respuestas pronosticadas
 % de adsorción = 68.0844
 Conveniencia = 0.969292
 Conveniencia compuesta = 0.969292

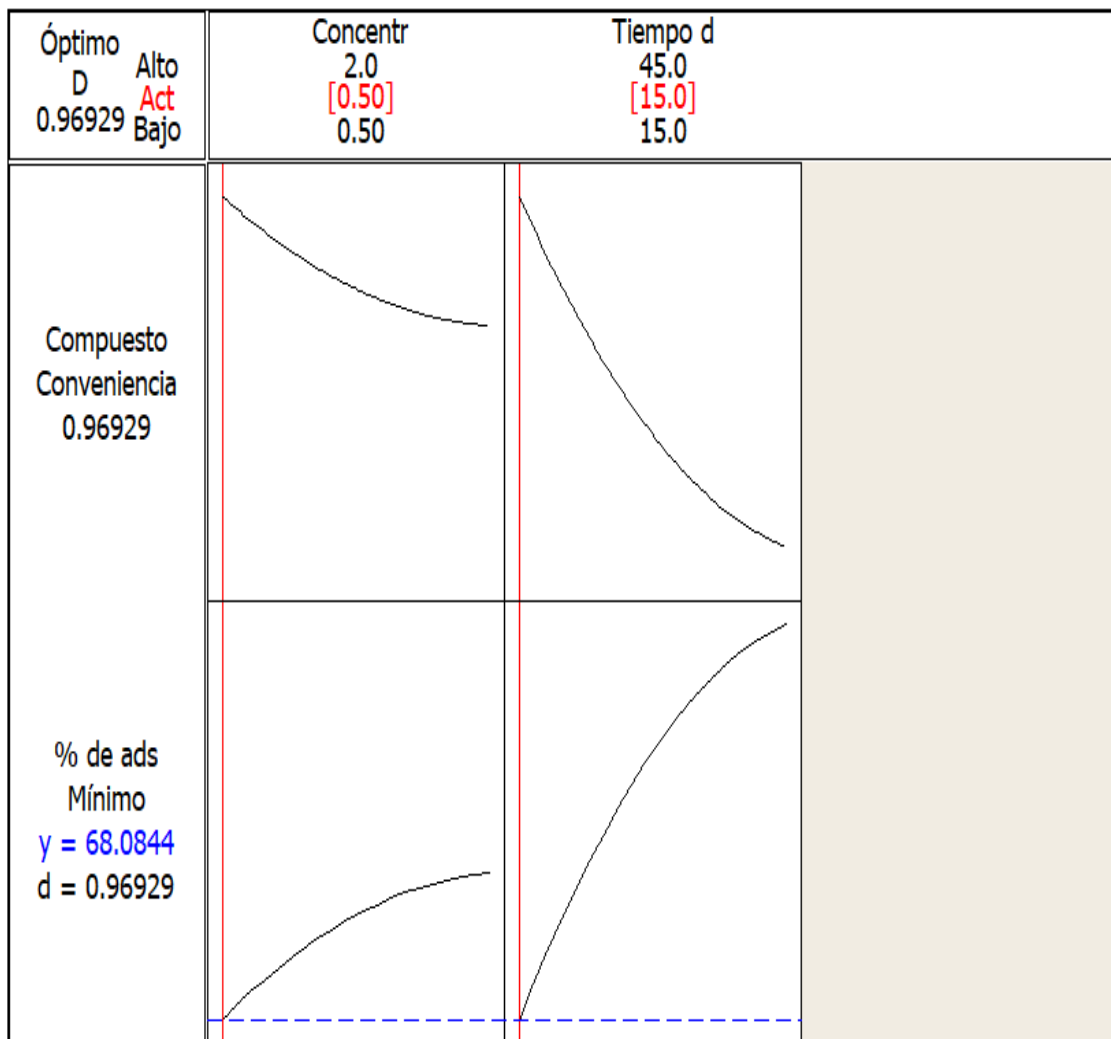


Figura 37. Optimización de respuesta de la mínima adsorción de cadmio

La Figura 37 de la optimización de respuesta del mínimo nos indica el valor más bajo de adsorción de cadmio, y pronostica estadísticamente que a una concentración de 0.5g de *E. crassipes* seco y con un tiempo de agitación 15 minutos, se obtendrá una reducción del 68.0844% de cadmio.

Las tecnologías disponibles para la reducción de metales pesados que han demostrado tener mayor aceptación es la adsorción, esto se debe a que hay compuestos estables que no se pueden remover o eliminarse por los métodos convencionales. Si comparamos este proceso de adsorción mediante el uso de la *Eichhornia crassipes* con el proceso convencional de adsorción con el uso de carbón activado, el alto costo de producción del carbón activado limita su

aplicación en el tratamiento de aguas residuales, debido a su fuerte retención que hace que dificulte su regeneración, es por eso uno de los aspectos que limita su aplicación a gran escala.

Los beneficios del uso de la *Eichhornia crassipes* como un adsorbente natural son su versatilidad, conveniencia, sencillez, además de ser un tratamiento de bajos costos, renovables y amigable con el medio ambiente, y debido a su fácil diseño puede ser aplicado a pequeñas, medianas y grandes industrias.

Otro punto importante es el costo/beneficio, al ser un producto natural que se puede obtener de manera fácil, por las características que posee de proliferación, brindándole las condiciones óptimas para su reproducción, comparándolo con el tratamiento del carbón activo el que requiere una mayor inversión además de no ser un material que pueda ser obtenido constantemente.

Otras ventajas son las ambientales, debido a que como se mencionó la especie *Eichhornia crassipes* es una especie invasora, así que el uso de este ayudaría al ambiente y evitaría que siga causando daños a los cuerpos de aguas superficiales.

DISCUSIÓN

Respecto a los parámetros fisicoquímicos demuestra que la *Eichhornia crassipes* no afecta el pH, esto se demuestra debido a que durante el proceso de la investigación no se observó cambios significativos respecto al pH, ya que el pH oscila entre los valores óptimos cercanos al neutro. Vargas (2015) manifiesta en su investigación sobre la remoción de metales pesados, que al aplicar el tratamiento de remoción con el uso de la especie *Eichhornia crassipes*, el pH del agua residual se aproximó a la neutralidad. Además, como la especie *E. crassipes* tiene un mayor crecimiento y está relacionado a un pH próximo al neutro, la aplicación de la especie en seco mantiene el pH entre valores óptimos. En su investigación Giraldo (2018), corrobora los resultados obtenidos, en su investigación al aplicar la especie en el tratamiento en humedales la variación del pH no es significativa además que el pH oscila entre los valores óptimos 6.5 y 8.5

En relación con Sandoval (2019), los valores obtenidos del pH oscilaron entre 7.5 y 6.8 en el cual se obtuvo crecidas y decrecidas, pero el pH se mantuvo en el rango óptimo.

Se concluye que la especie *E. crassipes* en seco reduce la concentración de Cadmio obteniendo una eficiencia de 67.15% a 97.58% la cual es óptima, estos resultados quedan corroborados por Atehortua y Gartner (2013), que en los estudios preliminares que realizaron a la biomasa seca de la *Eichhornia crassipes* como un adsorbente de plomo y cromo en aguas demostraron que el porcentaje de reducción de cadmio mínimo fue del 62.05% y el mayor fue de 84.08%. Con esta información se validaría de igual forma que los resultados obtenidos fueron los adecuados y que la concentración de la *E. crassipes* en seco aplicando el tratamiento en un corto periodo de tiempo es muy efectiva. En relación con Sandoval (2019), en su investigación concluyó que la especie *E. crassipes* en el tratamiento de fitorremediación obtuvo como valor óptimo de reducción un 83.57% en 11 días de ensayo. Evidenciando la efectividad de la especie en la remoción de metales pesados.

Según Barrera, Castañeda, Santamaría, Munive, Rivera y Ramos (2019), corroboraron el poder de bioadsorción de metales pesados para la especie *E. crassipes*, obteniendo resultados de su investigación que la planta tiene la capacidad de absorber hasta un 91.84% de contenido de plomo, se concluyó que la especie *Eichhornia crassipes* posee una alta capacidad de bioacumulación, y que se obtendría mejores resultados si los niveles de contaminación no son muy elevados.

Según Sandoval (2019), respaldan la eficiencia de la especie *Eichhornia crassipes* en su investigación, donde se obtuvo una reducción de hasta 83.57% la cual se encuentra en el rango de la presente investigación.

Según Domínguez, Gómez y Ardila (2016) contribuyen en la veracidad de los datos, en su investigación lograron la reducción mercurio (Hg) de un 71% en un periodo de un mes, en lo cual de igual manera que la presente investigación se concluye que la reducción de los contaminantes está en función de la concentración inicial de los contaminantes, a mayor concentración se observa que la reducción y poder de adsorción de la especie disminuye en los tiempos establecidos, el mayor aporte de la presente investigación se daría en las etapas tempranas de contaminación en la cual se obtendrían valores óptimos de reducción de contaminantes.

CONCLUSIONES

- *Eichhornia crassipes* tiene un efecto positivo en la reducción de la concentración de cadmio presentes en las aguas del río Rímac provenientes de la industria metalúrgica en el sector de San Mateo de Huanchor-Huarocharí. Los resultados obtenidos dan a conocer el potencial hiperacumulador de la especie, en la presente investigación se tuvo una reducción de hasta un 97.58% de la concentración de cadmio. La adsorción se da porque la especie en seco posee electrones libres en los grupos funcionales de hidroxilos, por lo tanto, existe una afinidad con los iones de cadmio y es por eso que se da la adsorción.
- No existe una variación significativa en los valores del pH de cada tratamiento, debido a que sus valores oscilan entre 6.60 y 7.43 lo que indica que están en un rango óptimo de pH, el cual es de 6.5 a 8.5. Por lo tanto, no es necesario realizar una modificación al pH, y esto es una ventaja debido a que no se necesita brindar condiciones al agua a tratar lo que indica que no se necesita realizar una inversión extra para el tratamiento.
- La capacidad de adsorción de *Eichhornia crassipes* en seco con la reducción del cadmio poseen una relación directamente proporcional, debido a que la especie *E. crassipes* en seco posee una alta capacidad de adsorción de la concentración de cadmio, teniendo como porcentaje de reducción un rango entre 67.15% y 97.58%, evidenciando que la especie *E. crassipes* seca y molida, guarda relación con la capacidad de adsorción de la concentración de cadmio por tener en su estructura la composición lignocelulosa, la cual indica que posee capacidad altamente hidrofílico con sus grupos funcionales de hidroxilos que tienen afinidad con los iones de cadmio, concluyendo que la *E. crassipes* en seco como adsorbente de cadmio en solución es muy efectiva, además que en el proceso no se requiere la implementación de complejas infraestructuras lo cual dificultaría su uso.

- La eficiencia de *E. crassipes* en la adsorción del cadmio es óptima, pues se obtuvo como reducción máxima de cadmio presente en aguas del río Rímac hasta un 97.58%, lo cual indica que al aplicarlo a niveles más concentrados de contaminantes se obtendrán buenos resultados de adsorción con la especie *E. crassipes*. Asimismo, al comparar los resultados obtenidos con los valores del ECA de agua (0.01 mg/L), dos de los tratamientos se encuentran por debajo de ese rango, M8 y M9 con valores de 0.006mg/L y 0.005mg/L respectivamente. Por consiguiente, la remoción de cadmio mediante la adsorción de la especie *E. crassipes* queda comprobado que tiene una alta efectividad. Además, que los métodos no convencionales vienen año tras año tomando relevancia en la industria, debido a su eficiencia y bajos costos.

RECOMENDACIONES

- Monitorear constantemente la acumulación de metales pesados presentes en el agua del río Rímac del sector de San Mateo de Huanchor, debido a que el agua es utilizada para riego de cultivos, y se da el proceso de acumulación que al ser consumido por la población se verán afectados en un futuro.
- El pH se debe mantener en el rango de 6.5 a 8.5 para un proceso de adsorción óptimo.
- A niveles altos de contaminación por metales pesados los resultados obtenidos en la presente investigación deferirán, lo recomendable es diluir la concentración del contaminante para la obtención de resultados óptimos.
- La disposición del filtrado (*E. crassipes* seca y triturada) debe ser dispuesta para un tratamiento posterior ya que es un residuo peligroso. Se propone como tratamiento la incineración como una alternativa, debido a que las cenizas de los metales permanecen más estables.
- Se propone como línea de investigación el aprovechamiento de la energía proveniente de su combustión del filtrado para futuros colegas.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, J., Paternina, E., y Barragán D. (2009). Adsorción física sobre sólidos: Aspectos termodinámicos. *Química Nova*, 32(5), 1350-1355.
- Atehortua, E. y Gartner, C. (2013). Estudios preliminares de la biomasa seca de *Eichhornia crassipes* como adsorbente de plomo y cromo en aguas. *Revista Colombiana de Materiales*, (4), 81-92.
- Aquino, P. (2017). *CALIDAD DEL AGUA EN EL PERÚ Retos y Aportes para una gestión sostenible en aguas residuales RESUMEN EJECUTIVO*. Derecho Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: https://issuu.com/darperu/docs/179_aguasres_re
- Barrera, Castañeda, Santamaría, Munive, Rivera y Ramos (2019). Modelo de Biorremediación de plomo con lirio acuático. *Revista Alianzas y Tendencias – BUAP*, 5(17), 15-28.
- Bermeo, M. (2016). Tratamiento de aguas residuales: Técnicas convencionales. *Revista EMSABA EP*, (2), 125–137.
- Calla, H. y Cabrera, C. (2010). Calidad del agua en la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 13(25), 87-94.
- Carpio, C. (2017). *Estudio de la bioadsorción de pb (II) y cd (II) usando como biomasa a Escherichia coli aislada de las aguas contaminadas del río Huatanay de la ciudad del Cusco* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez y Sandoval (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 73-90.
- Cayetano, P. (2019). *Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: Plomo, Cadmio, Mercurio y Arsénico*. Instituto Nacional de Salud. Recuperado de:

<https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/ogitt/cati/3%20BOLET%20C3%8DN%20T%20C3%89CNOLOGICAS%20N-3%202019.pdf>

- Cortés, P. y Florez, J. (2017). *Evaluación in vitro de la Taruya (Eichhornia crassipes) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo* (Tesis de pregrado). Universidad de San Buenaventura seccional Cartagena, Cartagena, Colombia.
- Cruz, M., Carbo, N., Gonzales, J., Tito, G., Depaz, K., Torres, S.,... Quispe, W. (2016). Tratamiento de las aguas de la laguna “Mansión” mediante la especie *Eichhornia crassipes*, para el riego de áreas verdes en la Universidad Peruana Unión. *Journal of agricultura and Veterinary Science*, 9(8) 53-65.
- Díaz, W. J. (2016). *Contaminación del ecosistema en San Mateo de Huanchor por los pasivos ambientales minero metalúrgicos y su impacto en la salud de los pobladores* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- DIGESA (2007). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales*. Recuperado de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-\(CONTINENTALES\).pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-(CONTINENTALES).pdf)
- Giraldo, C. (2018). *Eficiencia de la especie Eichhornia crassipes – Jacinto de agua en el tratamiento del agua residual de la Laguna “Mansión” para el riego de residual de las áreas verdes en la Universidad Peruana Unión, Periodo-2015* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión “Santiago Antúnez de Mayolo”, Huaraz, Ancash, Perú.
- Guevara, M., y Ramírez, L. (2015). *Eichhornia crassipes*, su invasibilidad y potencial fitorremediador. *La granja: Revista de ciencias de la vida*, 22(2), 5-11.

- Gutiérrez, S. M. (2015). Estudio de la Bioadsorción de Cadmio y Plomo con biomasa de *Serratia marcescens* M8a-2T, a Nivel de Laboratorio (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Martelo, J. y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243
- Moreno, R. (2018). Río Rímac envenenado con metales pesados. *Señal Alternativa*. Recuperado de <http://senalalternativa.com/noticias/rio-rimac-envenenado-con-metales-pesados.html>
- Navarro, J., Aguilar, I. y López, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 16(2), 1-17
- Nordberg, G. (1998). Metales: propiedades químicas y toxicidad. En J. Mager (Ed), *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (63.10 - 63.12). España, Madrid: Chantal Dufresne, BA.
- Poveda, R. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícolas previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Poma, V. y Valderrama, A. (2014). Estudios de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes*. *Revista Sociedad Química Perú*, 80(3), 164 - 173.
- Quiroz, L., Izquierdo, E., y Menéndez, C. (2017). Aplicación del índice (de calidad de agua en el río Portoviejo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 18(3), 41-51.
- Quispe, L., Arias, J., Martínez, C., y Cruz, M. (2017). Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su

crecimiento en unci3n al tiempo y adopci3n al medio en una laguna experimental. *Revista de Investigaci3n Ciencia, Tecnologa y Desarrollo*, 3(1), 81-82.

Rojas, L. y Suyon, E. (2019). *Eficiencia de fitorremediaci3n con Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) para disminuir concentraciones de ars3nico en aguas del centro poblado Cruz del Medano-Morrope-2019* (tesis de pregrado). Universidad de Lambayeque, Chiclayo, Per3.

Sandoval, J. (2019). *Eficiencia del Jacinto de agua Eichhornia crassipes y lenteja de agua Lemma minor L. en la remoci3n de cadmio en aguas residuales* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Per3.

Sierra, C. A. (2011). Cap3tulo 8. Comportamiento de las sustancias contaminantes en el medio acu3tico. En L. D. L3pez (Ed). *Calidad del agua – evaluaci3n y diagn3stico* (252 - 258). Colombia, Medell3n: Ediciones de la U.

UICN (2018). *Gu3a de monitoreo participativo de calidad de agua*. Quito- Ecuador: Uni3n Internacional para la Conservaci3n de la Naturaleza.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis Físico-químico de la muestra M0



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004680

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFICIENCIA
PROFESIONAL INGENIERIA
AMBIENTAL "UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochiri
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 30 de setiembre de 2020

Nº LABORATORIO	4680
Nº DE CAMPO	Agua
Cadmio mg/L	0.207

Eusebio Ingo Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 2. Análisis Físico-químico de la muestra M1



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004689

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
INGENIERIA AMBIENTAL " UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochirí
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de octubre de 2020

Nº LABORATORIO	4689
Nº DE CAMPO	M 1
Cadmio mg/L	0.068

Eusebio Ingo Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 3. Análisis Físico-químico de la muestra M2



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamollna.edu.pe



Nº 004690

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
INGENIERIA AMBIENTAL " UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochirí
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de octubre de 2020

Nº LABORATORIO	4690
Nº DE CAMPO	M 2
Cadmio mg/L	0.054

Eusebio Ingol Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 4. Análisis Físico-químico de la muestra M3



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004691

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
INGENIERIA AMBIENTAL " UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochiri
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de octubre de 2020

Nº LABORATORIO	4691
Nº DE CAMPO	M 3
Cadmio mg/L	0.045

Eusebio Ingol Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 5. Análisis Físico-químico de la muestra M4



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004692

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
INGENIERIA AMBIENTAL " UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochirí
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de octubre de 2020

Nº LABORATORIO	4692
Nº DE CAMPO	M 4
Cadmio mg/L	0.026

Eusebio Ingo Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 6. Análisis Físico-químico de la muestra M5



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004693

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
INGENIERIA AMBIENTAL " UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochiri
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de octubre de 2020

Nº LABORATORIO	4693
Nº DE CAMPO	M 5
Cadmio mg/L	0.021

Eusebio Ingal Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 7. Análisis Físico-químico de la muestra M6



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004694

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFFICIENCIA PROFESIONAL
INGENIERIA AMBIENTAL " UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochirí
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de octubre de 2020

Nº LABORATORIO	4694
Nº DE CAMPO	M 6
Cadmio mg/L	0.018

Eusebio Ingal Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 8. Análisis Físico-químico de la muestra M7



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004695

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
INGENIERIA AMBIENTAL " UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochirí
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de octubre de 2020

Nº LABORATORIO	4695
Nº DE CAMPO	M 7
Cadmio mg/L	0.011

Eusebio Incol Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 9. Análisis Físico-químico de la muestra M8



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 004696

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
INGENIERIA AMBIENTAL " UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochirí
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de octubre de 2020

Nº LABORATORIO	4696
Nº DE CAMPO	M 8
Cadmio mg/L	0.006

Eusebio Ingo Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 10. Análisis Físico-químico de la muestra M9



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 004697

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE AGUA

SOLICITANTE : FLOR MARÍA INCA RAMOS
PROYECTO : TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
INGENIERIA AMBIENTAL " UNTELS"
PROCEDENCIA : San Mateo de Huanchor - Huarochiri
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 13 de octubre de 2020

Nº LABORATORIO	4697
Nº DE CAMPO	M 9
Cadmio mg/L	0.005

Eusebio Ingo Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo 11. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos



CUT: 135807

Expediente : CUT - 135807 - 2015
Materia : Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos

RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 010 -2016-ANA

Lima, 11 ENE. 2016

VISTO:

El Memorando N°2484-2015-ANA-DGCRH de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos; y,

CONSIDERANDO:

Que, conforme el artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, es función de la Autoridad Nacional del Agua, dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos;

Que, según el artículo 76° de la acotada Ley, la Autoridad Nacional del Agua en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa y fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por la autoridad del ambiente. También establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta. Asimismo, implementa actividades de vigilancia y monitoreo, sobre todo en las cuencas donde existan actividades que pongan en riesgo la calidad o cantidad de recurso;

Que, el artículo 126° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG, establece que el monitoreo de la calidad de las aguas, en el marco del Plan Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua, se efectúa de acuerdo con el protocolo aprobado por la Autoridad Nacional del Agua;

Que, asimismo el artículo 6° de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, y modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, prescribe que la autoridad competente establece el protocolo de monitoreo de la calidad ambiental del agua, en coordinación con el MINAM y la participación de los sectores respectivos;

Que, el "Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial" fue aprobado mediante Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA;

Que, con Resolución Jefatural N° 251-2015-ANA se prepublicó un proyecto de protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial, para que durante el plazo de quince (15) días hábiles, se reciban los opiniones y comentarios respectivos;



Que, con documento del visto, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos remite el Informe Técnico N° 175-2015-ANA-DGCRH/GECRH-MEPB/KH y la nueva propuesta de Protocolo que propone estandarizar criterios y procedimientos técnicos para evaluar la calidad de los recursos hídricos, continentales y marino costeros, considerando las normas internacionales en su última actualización y estableciendo mayores precisiones para el monitoreo; propuesta que contempla los aportes, comentarios y sugerencias efectuados por las autoridades ambientales correspondientes;

Que, en tal sentido el citado informe recomienda se apruebe el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, ello en cumplimiento a lo previsto en el artículo 6° de las Disposiciones para la Implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobadas por el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, modificado por Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM;

Que, por lo expuesto resulta necesario dictar el acto administrativo que apruebe el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, y deje sin efecto la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA; y

Con el visto de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica y de la Secretaría General, y en uso de las facultades conferidas en el artículo 11° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG;



SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Aprobación

Aprobar el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales", que forma parte integrante de la presente resolución.

Artículo 2°.- Publicación

Disponer la publicación de la presente resolución y del Protocolo aprobado mediante el artículo precedente en el portal institucional de la Autoridad Nacional del Agua: www.ana.gob.pe.

Artículo 3°.- Derogatoria

Dejar sin efecto la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA.

Regístrese, comuníquese y publíquese,



JUAN CARLOS SEVILLA GILDEMEISTER

Jefe
Autoridad Nacional del Agua



Autoridad Nacional del Agua

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año de la consolidación del Mar de Grau"

PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES



Lima, enero de 2016

**PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO
DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES**

Autoridad Nacional del Agua
Ministerio de Agricultura

Jefe de la Autoridad Nacional del Agua
Ing. Juan Carlos Sevilla Gildemeister

Secretaría General
Abg. Janet Aída Velásquez Arroyo

Director de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos
Blgo. Juan Carlos Castro Vargas

Coordinadora del Protocolo
Blga. María Esther Palacios Burbano

Equipo colaborador
Ing. Paola Chinen Guima
Blga. Melissa Salbatier Portugal
Ing. Flor de María Huamani
Ing. Lourdes Chang Cristóbal
Quím. Daniel Medrano Mallqui
Ing. Rony Colque Granda
Ing. Jorge Silva Morán
Ing. Ramón Gonzales Cornejo
Blgo. Juan José Ocola Salazar
Lic. Llojan Chuquisengo Picon
Blgo. Percy Pérez Díaz
Blga. Lizeth Cárdenas Villena

Apoyo Consultor Internacional de la GIZ
Ing. Klaus Holzner - Experto Integrado CIM

Instituciones colaboradoras
Ministerio del Ambiente - Dirección General de Calidad Ambiental
Ministerio de Salud - Dirección General de Salud Ambiental
Ministerio de la Producción – Despacho Viceministerial de Pesca y Acuicultura – Dirección General de Sostenibilidad Pesquera
Ministerio de la Producción – Viceministerio de MYPE e Industria – Dirección General de Asuntos Ambientales
Ministerio de Agricultura – Dirección General de Asuntos Ambientales
Ministerio de Defensa – Dirección General de Capitanía y Guardacostas del Perú
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento – Dirección General de Asuntos Ambientales
Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros
Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
Instituto del Mar del Perú



Dirección de la Autoridad Nacional del Agua
Calle Diecisiete 355, Urb. El Palomar – San Isidro, Lima
Teléfono: 01-226-0647 – Anexo: 2400

www.ana.gob.pe

CONTENIDO

1.	Introducción	4
2.	Objetivo	4
3.	Base legal	5
4.	Alcance y aplicación del protocolo	6
5.	Monitoreo de la calidad del cuerpo receptor de vertimientos AUTORIZADOS	6
5.1.	Ubicación de los puntos de control de la calidad del cuerpo receptor de un vertimiento de aguas residuales	6
5.1.1.	En cuerpo de agua lótico	7
5.1.2.	En cuerpo de agua léntico	8
5.1.3.	En cuerpo de agua marino-costero	9
5.1.4.	Identificación de los puntos de monitoreo y/o control en el cuerpo receptor	10
5.2.	Frecuencia de monitoreo de la calidad del cuerpo receptor de un vertimiento de aguas residuales tratadas	10
5.3.	Parámetros de control en función de la actividad generadora de las aguas residuales ..	10
5.4.	Toma, conservación, preservación y análisis de las muestras de agua	12
5.5.	Remisión de los reportes de monitoreo	12
6.	Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos SUPERFICIALES	12
6.1.	Recursos humanos	12
6.2.	Recursos económicos	13
6.3.	Tipos de muestras de agua	13
6.4.	Planificación del monitoreo	14
6.5.	Establecimiento de la red de puntos de monitoreo	15
6.5.1.	Cuenca e intercuenca	15
6.5.2.	Lagos, lagunas, embalses	15
6.5.3.	Mar	16
6.5.4.	Codificación del punto de muestreo	16
6.6.	Frecuencia de monitoreo	18
6.7.	Parámetros recomendados en el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	18
6.8.	Preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección	19
6.9.	Seguridad en el trabajo de campo	19
6.10.	Reconocimiento del entorno	20
6.11.	Rotulado y etiquetado	20
6.12.	Medición de las condiciones hidrográficas en aguas continentales y marino-costeras ...	20
6.12.1.	Condiciones hidrográficas y dinámicas en aguas continentales	20
6.12.2.	Condiciones hidrográficas y dinámicas en aguas marino-costeras	22
6.13.	Georreferenciación del punto de monitoreo	24
6.14.	Medición de los parámetros de campo	24
6.15.	Procedimiento para la toma de muestras	25
6.16.	Preservación, llenado de la cadena de custodia, almacenamiento, conservación y transporte de las muestras	28
6.17.	Aseguramiento de la calidad del muestreo	30



Blancos	30
6.17.1. Duplicados de campo	31
6.17.2. Recomendaciones para el aseguramiento de la calidad del muestreo.....	31
6.18. Actividades postmuestreo	32

ANEXOS

- Anexo I: Ficha de registro de datos de campo
- Anexo II: Etiqueta para muestras de agua
- Anexo III: Cadena de custodia
- Anexo IV: Ficha de Identificación del punto de monitoreo
- Anexo V: Manguera muestreadora
- Anexo VI: Frecuencias de monitoreo establecidas en las normas ambientales sectoriales
- Anexo VII: Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado
- Anexo VIII: Glosario de términos
- Anexo IX: Referencias bibliográficas

