

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres utilizando el polvo de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural en la región Puno, 2018

Por:

Maritza Olivera Huacasi

Asesora:

Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani

Juliaca, diciembre de 2018

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS


Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulada: **“Remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres utilizando el polvo de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural en la región Puno, 2018”** constituye la memoria que presenta la Bachiller Maritza Olivera Huacasi para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, dicha tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Juliaca, a los 27 días del mes de diciembre del 2018.



Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani

Remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres
utilizando el polvo de la semilla de *Moringa oleífera* como
coagulante natural en la región Puno, 2018

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera
Presidente

MSc. Rose Adeline Callata Chura
Secretario

MSc. Jael Calla Calla
Vocal

Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani
Asesor

Juliaca, 27 de diciembre del 2018

DEDICATORIA

A Tomás, mi padre, por su apoyo incondicional y económicamente para lograr con éxito esta investigación.

A Francisca, mi madre, por su perseverancia en los momentos difíciles y brindarme su amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por protegerme durante mi investigación, por ser mi fortaleza en los momentos débiles.

A mis padres, por apoyarme en todo momento, y brindarme su apoyo financiero, de esa manera lograr mi objetivo.

A la Universidad Peruana Unión, por haberme permitido formarme profesionalmente.

A la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por haber logrado culminar con éxito mi carrera profesional y conjuntamente la tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. Identificación del problema	16
1.2. Justificación	19
1.3. Presuposición filosófica.....	20
1.4. Objetivos.....	21
1.4.1. Objetivo general.....	21
1.4.2. Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA.....	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	25
2.2. Aguas residuales	27
2.2.1. Tipos de aguas residuales.....	28
2.2.2. Características de aguas residuales	28
2.3. Cromo	31
2.4. Moringa.....	33
2.5. Técnicas tratamiento de remoción de los metales pesados	35

2.6. Marco conceptual.....	38
2.7. Marco legal	40
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. Ámbito de estudio.....	41
3.2. Tipo de investigación.....	42
3.3. Diseño de investigación (estadístico)	42
3.4. Materiales y equipos	44
3.4.1. Materia prima e insumos.....	44
3.4.2. Materiales.....	44
3.4.3. Equipos	44
3.4.4. Reactivos.....	45
3.5. Procedimientos	45
3.5.1. Obtención del polvo de la semilla de <i>Moringa oleífera</i>	45
3.5.2. Extracción del aceite de la semilla de <i>Moringa oleífera</i>	46
3.5.3. Obtención del coagulante al 5 %.....	47
3.1.1. Prueba de jarras.....	48
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1. Resultados.....	50
4.1.1. Resultados de la experimentación.....	50
4.1.2. Determinación de las concentraciones y pH.....	51
4.2. Discusión	55

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
5.1. Conclusiones.....	56
5.2. Recomendaciones	56
REFERENCIAS.....	58
Anexos	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de cromo	31
Tabla 2. Taxonomía de <i>Moringa oleífera</i>	34
Tabla 3. Diseño de la investigación.....	43
Tabla 4. Detalle de diseño de investigación factorial 2^2	43
Tabla 5. Características fisicoquímicas de agua de la industria de Curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química - UNA Puno	50
Tabla 6. Resultados obtenidos de la experimentación.....	51
Tabla 7. Análisis de Varianza ANOVA para remoción de cromo VI.....	54
Tabla 8. Valor óptimo de remoción de cromo VI.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la industria de curtiembre.	41
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de obtención de la semilla de <i>Moringa oleífera</i>	46
Figura 3. Diagrama de extracción del aceite de la semilla de <i>Moringa oleífera</i>	47
Figura 4. Diagrama de obtención de la concentración del coagulante al 5 % de <i>Moringa oleífera</i>	48
Figura 5. Diseño de experimentación en la prueba de jarras.....	49
Figura 6. Superficie de respuesta estimada para cromo VI.	52
Figura 7. Contornos de la superficie de respuesta estimada para cromo VI.	53
Figura 8. Porcentaje de remoción de cromo VI.....	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Cadena de custodia	64
Anexo B. Fotografías.....	67
Anexo C. Informes de laboratorio.	74

SÍMBOLOS USADOS

OEFA : Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

pH : Potencial de hidrógeno

DQO : Demanda Química de Oxígeno

DBO : Demanda Bioquímica de Oxígeno

SST : Sólidos Suspendidos Totales

UNT : Unidades Nefelométricas de Turbidez

MINAM : Ministerio del Ambiente

MINAGRI : Ministerio de Agricultura

ANA : Autoridad Nacional del Agua

LMP : Límites Máximos Permisibles

PRODUCE : Ministerio de Producción

RESUMEN

Las industrias de curtiembre generan aguas residuales que son directamente vertidos a cuerpos de agua, con presencia de concentraciones de cromo VI, generando malestar en la población y el medio ambiente. El objetivo de este estudio fue evaluar la remoción de cromo VI de las aguas residuales de curtiembre utilizando el polvo de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural en la región Puno. Se utilizó la metodología de coagulación y floculación mediante la prueba de jarras, esta prueba fue realizado a una mezcla rápida de 200 rpm por 60 segundos y a una mezcla lenta de 45 rpm por 10 min y 1 hora de sedimentación; en el estudio se consideró como variables independientes al pH (8 y 10) y a la concentración del coagulante de *Moringa oleífera* de (5 % y 7 %); para lo cual se realizaron 4 ensayos con tres repeticiones. Los resultados mostraron que la mayor remoción se logra aplicando una concentración de 7 % y pH 10, removiendo el 95.6 % de cromo VI. Por lo tanto la semilla de *Moringa oleífera* es un coagulante eficaz para la remoción de este metal en aguas residuales de curtiembre, además las variables independientes del estudio si influyen en la remoción de metal cromo VI.

Palabras clave: agua residual de curtiembres, coagulante natural, *Moringa oleífera*, remoción de cromo VI.

ABSTRACT

The tannery industries generate wastewater that is directly discharged into receiving water, with the concentrations of pollutants like chromium VI, generating discomfort in the population and environment. The aim of this study was to evaluate the removal of chromium VI from tannery wastewater using the *Moringa oleifera* seed powder as a natural coagulant in the Puno region. The coagulation and flocculation methodology was used by the test of proof of ptchers, this test was performed at a rapid mix of 200 rpm for 60 seconds and a slow mixture of 45 rpm for 10 minutes and 1 hour of sedimentation; In the study, the pH (8 and 10) and the concentration of *Moringa oleifera* coagulant (5% and 7%) were considered as independent variables; for this study, 4 trials were carried out with three repetitions. The results showed that the greatest removal is achieved by applying a concentration of 7% and pH 10, removing 95.6% of chromium VI. Therefore *Moringa oleifera* seed is an effective coagulant for the removal of this metal in wastewater from tannery, besides the independent variables of this study have influence in the removal of chromium VI metal.

Keywords: Chromium VI removal, natural coagulant, *Moringa oleifera*, tannery wastewater.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

La industria de curtiembre genera cantidades de aguas residuales que son vertidos directamente a cuerpos de agua generando malestar en la población y afectando significativamente al medio ambiente, siendo el cuero la materia prima para la producción de calzados, carteras y otros productos de manufactura, del procesado de cuero también da como subproducto las aguas residuales, las cuales presentan concentraciones elevadas de cromo VI, las cuales afecta de manera significativa la vida hídrica del cuerpo receptor alterando la capacidad de supervivencia de los seres acuáticos (Artiga, 2005).

La industria de curtiembre del distrito de Puno no es ajena a esta problemática, debido a que la población está expuesta a los problemas de contaminación con vertimientos de aguas residuales sin un previo tratamiento. Por ello que en la actualidad existen alternativas para resolver este problema utilizando técnicas de tratamiento de aguas residuales con un costo elevado y de la misma manera generando sub residuos producto del proceso de tratamiento; por esta razón se opta por la técnica de coagulación y floculación utilizando la semilla de la *Moringa oleífera*, generando un valor económico al alcance de la población y contribuyendo a la sostenibilidad de la sociedad y el ambiente (Portada, 2016).

La contaminación acuática por metales pesados el cromo VI, lo cual es generada por la industria de curtiembres, constituye uno de los problemas ambientales más críticos en la actualidad, debido a su alta toxicidad, penetración en los seres vivos, agua; perjudicando la

salud, cantidad de diversidad de los organismos vivos (Portada, 2016). Ya que es una de las actividades que genera gran impacto en la calidad de aguas superficiales, siendo uno de los problemas más impactantes la contaminación con metales pesados especialmente con cromo que es el resultado del lavado del cuero.

Por otro lado, según Albadarin et al. (2012), menciona que también el cromo es utilizado en la industria de minería, cuero y cromado; por lo que el efecto tóxico del cromo es un problema presente y por ende la contaminación directa como también del suelo, agua, plantas ya que estos podrían ser como transportadores de la contaminación, por lo que el cromo se acumula en la superficie del suelo y son absorbidos por las raíces de las plantas de esta manera afectando la cadena trófica.

En los efluentes el cromo puede encontrarse como Cr^{+6} , trivalente Cr^{+3} ; en donde el Cr^{+6} es más tóxico, en la mayoría de los casos el nivel del cromo que se encuentra en el agua es de $10 \mu\text{g/L}$, entonces los valores de pH se encuentran en la forma de $\text{Cr}(\text{OH})_3$ que es insoluble. El Cr^{+6} es soluble en la forma Cr_2O_7 ; sin embargo cuando se vierten los efluentes a cuerpos de agua las concentraciones de cromo alcanzan a $25 \mu\text{g/L}$ (Tapia et al., 2002).

En la industria curtiembre el cromo produce efluentes de aguas residuales una cantidad de 5 L hasta 6 L cada día, obteniendo una cantidad de agua residual entre $15 \text{ m}^3/\text{día}$ hasta $50 \text{ m}^3/\text{día}$ menciona Artiga (2005), el proceso de pelambre como el curtido constituye el 100 % de la toxicidad de los efluentes de la industria de curtiembre (Feria, Bermudez, & Estrada, 2014). La industria de curtiembre tiene gran impacto por lo que las características de sus efluentes que elimina son insumos químicos y tóxicos, la utilización del metal en el curtido se realiza en el baño de curtido 60 %, escurrido y reposo 20 %, recurtido 18 % y lavado final 2 % (Portada, 2016).

El uso del metal cromo VI como agente se debe a la calidad del cuero que se genera; ya que las sales generan un curtido más uniforme y de manera más rápido, en cambio las sales de aluminio hacen que el cuero se hinche y en ebullición se convierta en un material de consistencia gelatinosa, es por eso que las industrias de curtiembres optan por el cromo en el proceso de curtido para obtener una producción de cuero (Porras, 2010).

En Colombia las industrias de curtiembres utilizan el Cr^{+6} que es altamente contaminante y tóxico, las industrias cuentan con maquinaria obsoleta, debido a la poca inversión tecnológica, se está generando contaminación a los cuerpos de agua, por otro lado en la ciudad de Bogotá generan un 90 % de cromo que se encuentran más de 350 empresas que descargan sus efluentes al río Bogotá. Estas descargas son un promedio de más de 4000 $\text{m}^3/\text{día}$ (Porras, 2010). Este problema no es ajeno en nuestro país, de la misma manera se generan los vertimientos de curtiembres a cuerpos de agua sin previo tratamiento. Los efectos tóxicos del Cr^{+6} son cancerígenos, ya que pueden ocasionar manifestaciones agudas y llegar a ser crónicas en las personas que han estado en contacto directo e indirecto con este elemento químico (Porras, 2010).

En Trujillo y Arequipa se encuentran en gran cantidad las empresas dedicadas a las industrias de curtiembre de manera formal e informal, utilizando sustancias químicas, sales, cromo, entre otros. Durante el proceso de curtido se utilizan un aproximado de 450 kg de insumos químicos y son añadidos por tonelada de piel (Ramirez, 2016). En el distrito de Porvenir se cuenta con 24 industrias de curtiembres, distrito de Florencia con 9, distrito de Esperanza con 42 y distrito de Trujillo con 16 industrias de curtiembres, lo que contribuye el incremento de la carga contaminante de los efluentes en la ciudad de Trujillo, sobrepasando los valores máximos admisibles de descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Ministerio de Vivienda, 2009). De igual

forma en Arequipa se utiliza un aproximado de 500 kilos de productos químicos para el procesamiento de una tonelada de cuero en el proceso de curtido, se calcula que el 85 % de del insumo químico no se aprovecha en el cuero final (Lazo, 2017 p.9). De todo ello se aprovecha solo una cierta cantidad el 20 % del peso y el resto 80% queda como residuo, de esta manera generando el vertimiento de aguas residuales industriales con cargas elevadas sobrepasando los valores máximos permisibles (Hernandez, Rivas, & Ventura, 2017).

En el presente estudio de investigación se evaluaron la eficiencia de remoción que posee la semilla de *Moringa oleífera*, evaluando su capacidad de remoción de metales pesados presentes en aguas residuales, logrando remover metales es especial el cromo VI en el agua. La utilización del método de coagulación y floculación ha marcado de una manera positiva en el campo científico de manera que en el último siglo se van realizando numerosos estudios con diversos metales mediante el uso de coagulantes naturales en la industria y agrícola (Cabrera, 2017).

1.2. Justificación

Las industrias de curtiembres generan aguas residuales con un elevado contenido de sólidos que conlleva a la concentración de lodos, cromo VI; actualmente la curtiembre del distrito de Puno no cuenta con tecnología para el tratamiento de aguas residuales. La tecnología que se propone realizar es la coagulación y floculación, es una tecnología que puede ser factible, de la misma manera el tratamiento es económico y viable (Portada, 2016)

Los efluentes de la industria de curtiembres lo descargan directamente a cuerpos de aguas ocasionando efectos negativos al recurso hídrico, disminuyendo su valor de uso, de la misma manera afectando la vida acuática; es uno de los contaminantes que se generan con más frecuencia, las industrias optan por metodologías con un costo elevado para cumplir los

parámetros ambientales y evitar sanciones. Para ello se propone la tecnología natural aplicando coagulantes naturales de manera que reducirá el nivel económico y una tecnología viable, por otro lado aportará conocimiento a la industria de curtiembre y evitará el vertimiento directo de aguas residuales (Portada, 2016).

“En el proceso de remojo, pelambre y curtido de pieles de la curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno, se generan aguas residuales que contienen un alto contenido de sólidos, sulfuros, cromo generalmente Cr^{+3} y Cr^{+6} ” (Portada, 2016 p. 20). Actualmente la industria de curtiembre es una de las más contaminantes y sin previo tratamiento se vierten directamente a cuerpos de agua, sobrepasando los parámetros ambientales.

La ventaja que tiene este método es por su reducible costo y una alta eficiencia de minimización de metales pesados. Es una de las alternativas que poco se implementa a nivel industrial, se realizaron varios estudios que se enfocan en metales como el arsénico, plomo, con la utilización de la semilla de *Moringa oleífera*, por tal razón se decidió tomar para este estudio de investigación el metal cromo VI con la semilla de *Moringa oleífera*.

1.3. Presuposición filosófica

Nuestro Señor nos encomendó cuidar y conservar la tierra, porque cada uno estamos encargados de la restauración y recuperación del agua, suelo, aire. El agua es la fuente de vida de los seres vivos ya que sin ella no habría vida; por lo que tiene un papel importante de transportar fuentes de energía; hoy en día no se conserva, sin el conocimiento de la realidad las personas seguimos contaminando arrojando desechos sólidos a cuerpos de agua, por las industrias vertiendo sus efluentes, desperdiciando.

Dios nos menciona que si estaríamos dispuestos a servirle como él manda, nos bendecirá con pan y agua, de la misma manera quitara toda enfermedad que hay en nosotros, ya que el consumir agua limpia nos trae beneficios a la salud (Éxodo, 23:25). El agua es símbolo de vida, “un río de agua viva, luciente como el cristal, que sale del trono de Dios y del cordero. En la mitad de la calle de la ciudad, a cada lado del río, crece un árbol de vida, quien tenga sed, que se acerque; el que quiera, coja gratuitamente agua viva” (Apoc. 22, 2-17).

La contaminación de agua está generando problemas ambientales, enfermedades, como se menciona: “con llanto vendrán, y entre suplicas los guiaré; los hare andar junto a arroyos de aguas, por camino derecho en el cual no tropezarán; porque soy un padre para Israel y Efraín es mi primogénito” (Jeremías, 31:9). De la misma manera en esta versión nos menciona que el agua es muy importante y la tarea es conservarla, “estos son manantiales sin agua, bruma impulsada por una tormenta, para quienes está reservada la oscuridad de las tinieblas” (2 Pedro 2:17).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres utilizando el polvo de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural en la región Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Obtener el coagulante natural a partir del polvo de la semilla de *Moringa oleífera*
- Determinar la concentración y pH adecuada de *Moringa oleífera* para la remoción de cromo VI
- Determinar el porcentaje de remoción de cromo VI

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Rondón et al., (2017), el trabajo de investigación que realizó para el tratamiento de residuales líquidos en la ciudad de Cuba, tuvo el objetivo de utilizar la semilla de *Moringa oleífera* en el tratamiento de residuales líquidos, en los cuales se determinó los parámetros fisicoquímicos. Se obtuvo los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de 80 mg/L con una dosis de coagulante de 69,70 mg/L, concluyendo que se logró reducir un 90 % de DQO.

Además Sandoval & Laines (2013) investigaron con la semilla de *Moringa oleífera* como una opción para suplir los coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales en México, para ello se compara dos tipos de coagulantes naturales y químicos, las cuales son 03 tipos de soluciones de semilla de *Moringa oleífera* y sulfato de aluminio utilizando el test de jarras, concluyendo que se logró reducir la turbiedad en un porcentaje de 92.03 %, 90.72 % y 95.60 %.

Por otro lado Hernandez, Rivas, & Ventura (2017) realizaron investigación en la ciudad de Salvador, con el objetivo de comprobar la remoción de dos metales arsénico y plomo en agua para consumo humano con Teberinto (*Moringa oleífera*), en la Escuela de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, el procedimiento realizado fue preparar 2 muestras de agua a nivel laboratorio, se añadió una

concentración de 1.00 g/L para As y Pb. Las 2 muestras se determinaron en un recipiente de 1L, luego se añadieron tres dosis de diferentes cantidades del polvo de la semilla de *Moringa oleífera* con 0.25, 0.50 y 1.00 mg/L, variando los tiempos de reacción 1, 2 y 3 h, realizando 3 réplicas por tratamiento; después de reaccionar la solución con la muestra, se realiza el filtrado con un filtro casero logrando remover los flóculos, se determinó la cantidad de metal en las muestras de agua antes y después del tratamiento; obteniendo como resultado, la remoción de metales de arsénico fue un porcentaje alto de 82.11 % (1.00 g en 1 h) y plomo con 99.90 % (0.50 g en 3 h).

Según los autores Feria, Bermudez, & Estrada (2014), realizaron investigación con la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú-Córdoba, realizaron 08 muestreos simples en el río Sinú, de la misma manera se seleccionaron las semillas, pelado, secado, molido, y tamizado con malla número 250 μm , luego el desengrasado del polvo de la semilla con el equipo de extracción Soxhlet. Seguidamente se prepararon las dosis de coagulante de 2.5 mg/L a 30.0 mg/L y se añadieron a cada muestra de agua; se concluye que obtuvo una reducción de turbidez 90 % con dosis de 4.5 mg/L y 17.5 mg/L.

Además Mera, Gutiérrez, Montes, & Paz, (2016), tuvieron el objetivo de evaluar la efectividad del polvo de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cauca - Colombia, para ello las muestras que se utilizaron son las aguas residuales de procesado de café con una turbidez de 2000 UNT y aguas provenientes del pelado químico de vegetales con 91.5 UNT. El tratamiento se realizó con el método de coagulación y floculación con la prueba de jarras a 130 rpm y una temperatura de 21.5 °C, con tiempo de mezcla de 30 min para aguas residuales de café y 15 min para aguas de pelado químico de vegetales. Se evaluaron pH, turbidez, conductividad

eléctrica, coliformes totales, sólidos suspendidos. Concluyendo que el 80.9 % de remoción para agua residual de café y 73.5 % de remoción para aguas de pelado químico de vegetales.

El investigador Lagos (2017), tuvo como objetivo evaluar los parámetros de adsorción de los metales cadmio, hierro y plomo en agua artificial utilizando la semilla de *Moringa oleífera* Lam, las semillas fueron lavadas, secadas a una temperatura de 60° durante 36 horas, seguidamente realizar el molido de la semilla y la extracción del aceite de la semilla tratada se realizó con el método Soxhlet, luego se prepararon las soluciones de cadmio, hierro y plomo y se sometieron en contacto con el adsorbente variando su tiempo de contacto y dosis. Los metales fueron medidos con el equipo espectrofotometría de absorción atómica, las dosis fueron para cadmio 0.2 a 1.0 mg/L, hierro 1.0 a 5.0 mg/L, plomo 2.0 a 10 mg/L; obteniendo un porcentaje de remoción de 95.6 % de cadmio, 90.4 % de hierro y 97.0 % de plomo.

Añadiendo a la investigación Arias, Hernández, Castro, & Sánchez (2017), tuvieron el objetivo de determinar la dosis óptima con la semilla de *Moringa oleífera* para tratamientos de aguas residuales de la central de Sacrificio en Cauca, se utilizó el método de coagulación y floculación con la prueba de jarras para medir pH, turbiedad, color, temperatura, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales y totales. Se lograron buenos resultados con una dosis óptima de 7500 mg/L y concentración óptima de 5 %. Se concluye que se logró remover un porcentaje de 87 % y 80 % en color y turbiedad.

Otra investigación de los autores Mas, Carrasquero, Martínez, Mejías, & Vargas (2013), tuvieron como objetivo “evaluar la eficiencia de la *Moringa oleífera* como coagulante orgánico en la remoción de metales en aguas de baja turbiedad provenientes de un sistema de tratamiento de lagunas de estabilización de efluentes residuales domésticos en estado de Zulia-Venezuela” (p.28), se recolectaron las semillas de la *Moringa oleífera*, luego secarlas, triturarlos, y tamizado para preparar el coagulante patrón con concentración de 10.000 mg/L,

se utilizó las concentraciones de 10 a 500 mg/L, se midieron los metales Ba, Cd, Cu, Fe, Ni y Pb con el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, se concluye que la remoción de los metales fue en 87.4 % Ba, 71,4 % Cd, 99,2 % Cu, 60.8 % Ni y 73,0 % Pb.

2.1.2. Antecedentes nacionales

La investigación de Acebedo (2016), tuvo el objetivo de “determinar la eficiencia de la semilla marango (*Moringa oleífera*) como material adsorbente para la remoción de plomo del río Mantaro, en el distrito Paccha, Jauja, Junín -2016” (p.10), se realizó el pre muestreo en 09 puntos para poder identificar el punto que tiene mayor concentración de plomo en el agua. Se variaron el pH con valores de 2.5, 5 y 7.5 con semilla de 0.3, 0.5, 0.7 g/L, tomaron 09 muestras de 0.5 L con 3 repeticiones, para ello se utilizó el equipo de test de jarras con tiempo de 10 min a 100 rpm, luego se realizó la filtración utilizando la bomba de vacío. Se obtuvieron un porcentaje de remoción de plomo en 91 % y 82 % en concentraciones de 0.3 gr/L para un pH de 2.5 y 5.

Según Mejia (2017), realizó investigación con el coagulante natural las semillas de *Moringa oleífera* para poder reemplazar a los coagulantes químicos, aplicando el método de coagulación y floculación con el test de jarras en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Puente Piedra Lima, Perú; se realizó 3 tratamientos con el coagulante natural (*Moringa oleífera*) con dosis diferentes y 01 tratamiento para coagulante químico (sulfato de aluminio), se determinaron DQO, DBO₅ y SST. Se concluye que con la semilla de *Moringa oleífera* se tuvo un porcentaje de remoción de turbidez en 87.3 % y SST en 88.8 %, mientras con el sulfato de aluminio se logró una remoción de turbidez en 92 % y SST en 94.5 %.

Según Rivera (2017) realizó investigación que tuvo el objetivo de “evaluar el uso de la *Moringa oleífera* y carbón activado para el mejoramiento de la calidad de agua residual de lavado vehicular según los datos de los Valores Máximos Permisibles”(p.44) en el distrito de San Martín de Porres – Lima, 2017; se evaluó los parámetros fisicoquímicos del agua residual, de varios análisis se determinó la dosis óptima del polvo de semilla de *Moringa oleífera* como coagulante realizando la prueba de jarras con 03 repeticiones, la cual la dosis de 140 mg/L fue la adecuada logrando reducir la turbiedad en un 95 % a una mezcla rápida de 120 rpm por 10 min y mezcla lenta de 60 rpm por 30 min y sedimentación de 60 min. Por otro lado el método de la filtración de carbón activado se obtuvo una reducción de turbidez de 98 %.

De la misma manera el autor Vela (2016) realizó investigación que tuvo el objetivo de “disminuir la turbiedad utilizando el coagulante natural la *Moringa oleífera* para el tratamiento de las aguas del río Alto Chicama, puente Ingón, Trujillo”(p.22), en el río se encontró 297 UNT, para realizar el tratamiento se utilizaron 04 dosis diferentes (15, 18, 20 y 25 ml) y velocidad de agitación de (200 rpm en 2 min con 60 rpm en 15 min, 300 rpm en 2 min con 80 rpm en 15 min, 200 rpm en 15 min con 80 rpm en 2 min y 300 rpm en 15 min con 60 rpm en 2 min). Se realizaron 16 ensayos con tres réplicas con la prueba de jarras, obteniendo el porcentaje de disminución de turbidez con dosis 20 mL y velocidad de agitación de 300 rpm en 2 min con 80 rpm en 15 min, concluyéndose que se logró reducir en un 93 % de turbidez las aguas río Alto Chicama.

Otras aportaciones con la investigación en temas de coagulantes naturales como Urquia (2017), tuvo el objetivo de “determinar la eficiencia de la semilla de *Moringa Oleífera* frente a la *Opuntia Ficus-Indica* en tratamiento de aguas del Río Huaycoloro, SRL-2017 en la ciudad de Lima” (p.29), para ello se aplicó el método de test de jarras para la semilla de

Moringa oleifera, se obtuvo un pH de 7,29 a 7,64, turbidez entre 6,21 a 560 NTU, sólidos disueltos de 30,33 g/L a 303 g/L, se utilizó una velocidad de agitación de 240 rpm por 5 min, teniendo como resultado el porcentaje de remoción de 80,9 % de turbiedad y 73,5 % de sólidos disueltos, mientras que la *Opuntia Ficus Indica* pudo obtener un pH de 7.49 a 7,64, turbidez entre 14,68 a 560 NTU, sólidos disueltos de 34,33 g/L a 300 g/L con 240 rpm en 5 min., logrando obtener el 50 % de remoción de turbidez y 45 % de sólidos disueltos. Concluyéndose que el coagulante natural de las semillas de *Moringa oleifera* son más eficientes para remover contaminantes de aguas residuales.

2.2. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que tienen las características originales cambiadas por la acción humana, e industrias y su calidad requiere un tratamiento adecuado antes de realizar el vertimiento de efluentes a cuerpos de agua (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2014). Los agentes orgánicos o biológicos, metales pesados vertidos por las diferentes industrias son dirigidos directamente a cuerpos de agua, éstos son responsables de la mayor contaminación del agua alterando las propiedades del agua, así convirtiendo el agua en un elemento vulnerable debido a la alteración con elementos nocivos para la vida y la salud, entre los cuales son:

- Agentes físicos: son partículas en suspensión, sólidos disueltos, sedimentos y coloides que se encuentran en el agua.
- Agente químico: se encuentran la materia orgánica e inorgánica, residuos, metales pesados, ácidos.
- Agente biológico: están los microorganismos, de características patógenas e inoñas, bacterias que se encuentran el agua.

2.2.1. Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales se clasifican en aguas residuales domésticas, industriales, municipales, a continuación se detallan según (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2014) :

- Aguas residuales domésticas o negras: son aquellas aguas de origen domiciliario, que contiene desechos, materia orgánica, entre otros, que son provenientes de las actividades humanas.
- Aguas residuales industriales: son aquellas aguas que provienen de las actividades mineras, industrias manufactureras, curtiembres, mineras, agrícola, agroindustrial, entre otros.
- Aguas residuales municipales: son aquellas aguas residuales domésticas que en su proceso de recorrido pueden estar mezclados con aguas de drenaje pluvial con agua residual industrial, suele ocurrir en alcantarillados combinados.

2.2.2. Características de aguas residuales

2.2.3. Características físicas

Las características físicas del agua son la temperatura, turbiedad, color, olor y sabor, pH, a continuación se detallan según (Olivos, 2010):

- Temperatura: es un parámetro indispensable en aguas residuales, ya que es una medida de la energía cinética, la cantidad de oxígeno en el agua; la variación de la temperatura modifica el nivel de saturación de oxígeno disuelto, velocidad de las reacciones químicas, asimismo la sedimentación de las partículas es en mayor

cantidad en aguas cálidas que en aguas frías esto sucede por el cambio de la viscosidad del agua.

- **Turbiedad:** es un parámetro que nos indica la calidad de la luz o la claridad de las aguas y aguas residuales con relación al material en suspensión coloidal. Las aguas crudas generalmente presentan turbiedad por lo que están presentes la materia orgánica.
- **Color:** el color de las aguas residuales es por la presencia de partículas en suspensión, colorantes, coloidales, materia orgánica que da coloración muy turbia, fitoplancton.
- **Olor y sabor:** gracias a los sentidos del gusto la población distingue y manifiesta un agrado o no, existen cuatro tipos de sabores ácido, salado, dulce y amargo; el olor en aguas residuales es inofensivo, de manera que gracias a microorganismos que degradan la materia orgánica se reduce el olor.
- **Ph:** es la medida de concentración de potencial de hidrógeno en el agua, en donde aguas con $\text{pH} < 6$, favorecen el crecimiento de hongos, cuando se presenta un pH bajo el cloro es mayor porque supera el ácido hipocloroso, y con un pH alto, predomina el nitrógeno amoniacal, en su forma gaseosa es tóxica. El rango adecuado de pH para diferentes tratamientos es 6.5 a 8.5 (Olivos, 2010).

2.2.4. Características químicas

Las características químicas del agua son los cloruros, sulfatos- sulfuros, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica de Oxígeno, a continuación se detallan según (Olivos, 2010):

- **Cloruros:** los cloruros provienen de la disolución de fragmentos de rocas que estén en contacto con el agua, por otro lado el cloruro es la descarga de los efluentes, aguas

residuales ya sean domésticas, agrícolas, industriales. Una elevada concentración de cloruro puede dañar las conducciones y perjudicando el crecimiento vegetal (Olivos, 2010).

- Sulfatos – sulfuros: se encuentran sulfuros naturales que se emplean en la metalurgia, utilizando metales como el hierro, manganeso. Los sulfuros son la concentración de varios minerales que están combinados con el azufre.
- Demanda Química de Oxígeno: la Demanda Química de Oxígeno determina la cantidad de oxígeno que se encuentra en el agua para que pueda realizar la oxidación de la materia orgánica, añadiendo agentes catalizadores oxidantes, algunos químicos para aportar en la oxidación de la misma manera considerando la temperatura del agua.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: es la cantidad de oxígeno que se encuentra presente en el agua para poder realizar la degradación de la materia orgánica.

2.2.5. Características biológicas

- Bacteria: son seres unicelulares, que se multiplican y se distribuyen en gran variedad, la mayor parte de las bacterias beneficiarias, por lo que éstas pueden transformar la materia orgánica y tienen el poder de autodepurar los cuerpos de agua.
- Protozoos: son individuos que se encuentran en el agua aportan en la fotosíntesis, en la depuración de aguas residuales y mantener en equilibrio la diversidad acuática, algunos parásitos son beneficiosos pero también hay otros que pueden causar enfermedades en el hombre y animales (Olivos, 2010).

2.3. Cromo

Es un elemento químico y natural por lo que también se le puede encontrar en rocas, plantas, suelo, animales, de la misma manera en el ambiente en sus diversas formas (Portada, 2016). El cromo se puede encontrar en distintas formas, en su estado líquido, sólido y gaseoso. Comúnmente son Cr (0), Cr (III), Cr (VI), de los cuales el más tóxico es el Cr VI, se encuentra en las industrias de curtiembre en el procesado de pieles, manufactura (Covarrubias & Peña, 2017). Sus características son, número atómico 24, peso atómico 52, densidad 7.2 g/cm, punto de ebullición 2672°C.

2.3.1. Tipos de cromo

Los tipos de cromo que se pueden encontrar se detallan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1.
Tipos de cromo

Valencia	Comportamiento en el ambiente	Observaciones
Cr (0)	Inestable	Se encuentra en acero inoxidable, sustancias cromadas.
Cr (I)	Inestable	
Cr (II)	Fácil oxidable a Cr ⁺³ pero estable solo en ausencia de oxidantes	Activo bajo condiciones anaeróbicas
Cr (III)	Muy estable	Requiere energía para oxidar
Cr (IV)	Solo existe una mínima cantidad realizando reacciones Redox	Se encuentra en sólido ferromagnético.
Cr (V)	Intermedio inestable	Observar en el momento de la oxidación y reducción
Cr (VI)	En condiciones ácidas, presenta un alto potencial de oxidación e inestable.	Agente oxidante

Fuente: Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria (Lagos, 2016)

2.3.2. Características de cromo VI

2.3.2.1. Características de cromo VI en el suelo

Los metales pesados se encuentran en el suelo de forma natural, pero en la actualidad se va aumentando incontrolablemente debido a diversas actividades industriales, agrícola, lixiviación de residuos sólidos, que generan contaminación en el suelo, en los cuales el cromo está presente, a través del ciclo vital, el ser humano llega a adquirir dicho metal, acumulándose en los organismos del ser vivo debido a que no son biodegradables, ocasionando enfermedades y efectos tóxicos a la salud (Rojas, Villanueva, Campos, Alma, & Rodríguez, 2012).

2.3.2.2. Características de cromo VI en el agua

Diferentes industrias utilizan el cromo en su estado de oxidación VI, éstos se depositan en el suelo como desechos en estado sólido, al descomponerse se infiltra produciendo lixiviados llegando hasta el agua subterránea (Roig, 2006).

2.3.3. Usos de cromo VI

El cromo se utiliza en las industrias de curtiembres en el proceso de cromado de cuero, en la etapa de curtido, en la etapa de acabado, etapa de ribera, proceso de lavado del cuero; manufactura, soldadura, colorante para distintos tipos de tela, metalurgia, refractarios, productos químicos (Concha & Garcia, 2017).

2.3.4. Efectos dañinos del cromo VI

2.3.4.1. Efectos en la salud

Pueden estar expuestos al cromo a través de la respiración, contacto con el metal, contacto con la piel, entre otros; también el cromo se puede encontrar en los alimentos, vegetales, frutas, carnes y granos. Cuando almacenan los alimentos en contenidos materiales de acero o latas se pueden generar concentraciones de cromo. El cromo VI es un elemento tóxico por lo que se le puede denominar un peligro para la salud de las personas, aún más los para los trabajadores que realizar productos utilizando el cromo VI en las industrias, están más propensos de adquirir enfermedades cancerígenas y no cancerígenas, intoxicación; al estar en contacto con el tacto puede causar reacciones alérgicas, irritación, malestar estomacal, cáncer pulmonar, hasta puede llegar a la muerte (Porrás, 2010).

2.3.4.2. Efectos en el medio ambiente

El cromo lo podemos encontrar en el aire, agua, suelo en sus diferentes formas cromo III y cromo VI. Las plantas lo asimilan y contienen cromo pero en cantidades bajas; además el cromo se incrementa en el suelo afectando los cultivos, plantas. El cromo III en dosis bajas es esencial en los organismos por lo que puede interferir en el metabolismo del azúcar. Mientras que el cromo VI es tóxico para los organismos (Porrás, 2010).


2.4. Moringa

2.4.1. Clasificación taxonómica de la *Moringa oleífera*

La clasificación taxonómica de la planta *Moringa oleífera* se puede apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2.

Taxonomía de Moringa oleífera

<i>Moringa oleífera</i>	Taxonomía	
	Reino	<i>Plantae</i>
	Subreino	<i>Tracheobionta</i>
	Filo	<i>Magnoliophyta</i>
	Clase	<i>Magnoliopsida</i>
	Sub clase	<i>Dilleniidae</i>
	Orden	<i>Capparales</i>
	Familia	<i>Moringaceae</i>
	Género	<i>Moringa</i>
	Especie	<i>Moringa oleífera</i>

Fuente: *Moringa Oleífera* (Agro, 2016).

2.4.2. Características morfológicas

Moringa oleífera se le conoce con diferentes nombres marango, taringo, es un árbol que crece en tropicales originario de Himalaya, se adapta a diferentes tipos de clima. Actualmente se distribuyó en gran parte de América Central y otros lugares. Es un árbol que crece desde los 7 a 12 m de altura, sus raíces son frondosos y profundas, esta planta crece rápidamente hasta 4 m de altura en menos de 6 meses. Presenta flores bisexuales con pétalos blancos, estambres amarillos, perfumadas, por cada fruto contienen 12 a 25 semillas (ADNAgro, 2016)

Las semillas son oleaginosas, están encapsuladas en forma de trilobuladas, poseen tres semillas aladas de 2.5 a 3 mm de largo, eso es lo que le diferencia de otros. Al sacar la cáscara se puede observar la semilla que es de color blanco y oleaginoso (Hernandez et al., 2017).

2.4.3. Usos de *Moringa oleífera*

La *Moringa oleífera* es utilizada como materia prima en distintas industrias, cosméticos, farmacéuticos, consumo, ornamental menciona (Hernandez et al., 2017), a continuación se detallan:

- Consumo: en general toda la planta es comestible ya que contiene proteínas, vitaminas y minerales. La planta presenta un sabor agradable, se le puede consumir de distintas maneras crudas o cocidas ya que son comestibles las hojas, y flores (Hernandez et al., 2017)
- Ornamentales: se le puede utilizar como árbol de sombra, cortinas, rompe vientos, ya que son árboles atractivas.
- Leña: el tallo del árbol de la *Moringa oleífera* tiene un poder calorífico de 4600 kcal/Kg, por lo que es un combustible que se aprovecha para cocinar, como también para elaborar carbón o pulpa de papel, papel.
- Depuración de aguas: las semillas atrapan las partículas en que se encuentran en suspensión formando flóculos y lo precipitan, por tal razón lo consideran como floculante natural, también realiza la depuración y purificación del agua.
- Aceite: la semilla contiene aceite pudiendo reemplazar a aceite oliva con 73% de ácido oléico, se utiliza para lubricar, fabricación de jabón, cosméticos.
- Fertilizante: el procesamiento de la semilla actúa como fertilizante natural por ser rico en nitrógeno.
- Forraje: se aprovecha las hojas que son ricas en proteínas, vitaminas, que son alimento para los animales rumiantes, cerdos, aves, y otros animales.

2.5. Técnicas tratamiento de remoción de los metales pesados

2.5.1. Filtración por membrana

Esta técnica requiere de poco espacio, fácil de operar, pero la desventaja es que se generan gran suma de lodos que contienen metales pesados, el tratamiento mayormente se emplea en agua potable, aguas residuales industriales; se utilizan diferentes materiales de membranas sintéticos o polímeros; para recuperar sales metálicas, explotación, producción de hidrocarburos (Paez, 2008). El método de filtración por membrana se divide en electrodiálisis, ósmosis inversa, nano filtración, ultrafiltración que tienen la capacidad de remover con iones hasta $0.0001 \mu\text{m}$.

2.5.2. Adsorción

Esta técnica tiene un alto porcentaje de remoción y reducción de contaminantes, entre ellos se encuentran los carbonos activados, arcillas, biopolímeros y algunos adsorbentes que se utilizan para la adsorción, esta técnica mayormente se aplica para remover colorantes, metales pesados, material radioactivo, de área de industria como contaminantes orgánicos e inorgánicos (Rojas et al., 2012).

2.5.3. Precipitación química

Se aplica más en industriales para remover metales pesados, ya que su aplicación es sencilla y al mismo tiempo económico, una de sus desventajas es que genera lodos y con el tiempo se necesita mantenimiento del equipo, aplicando esta técnica si presenta buenos rendimientos en el tratamiento de aguas residuales ya que convierte a los contaminantes en compuestos inocuos (Santibáñez, 2008). Para realizar la precipitación química se añade el hidróxido de sodio, sulfato férrico, sulfuros

2.5.4. Coagulación – floculación

Las partículas en suspensión que estén presentes en el agua tienen cargas negativas, la coagulación es atrapar los sólidos disueltos en el agua formando los flóculos, se puede realizar manualmente o aplicando el test de jarras, para ello se agregan los coagulantes naturales o químicos para desestabilizar las partículas coloidales; logrando neutralizar las cargas y después dejar que los sólidos sedimenten. Se debe considerar la dosis óptima de coagulante, el tiempo de la mezcla del coagulante (Caviedes, Muñoz, & Perdomo, 2015).

2.5.5. Intercambio iónico

El intercambio iónico es un método económico y de fácil aplicación para tratamiento de agua, consiste en poner en contacto con un sólido iónico con el agua, es decir la resina con la mezcla líquida, con ello se consigue eliminar la solución líquida y la concentración se atrapa dentro de la resina. Este proceso tiene etapas que son la difusión, adsorción, atracción electrostática y equilibrio ácido-base (Dardel, 2016).

2.5.6. Electrocoagulación

Es muy similar a la coagulación y floculación añadiendo reactor electrolítico, consiste en fuentes de corriente eléctrica de bajo voltaje de esa manera desestabilizando los iones y formando flóculos, así generando una carga de cationes, consta de dos electrodos metálicos hierro y aluminio; es otra de las alternativas para la purificación de aguas residuales (G. O. Taborda, Zuluaga, Palomá, & Penagos, 2011).

2.5.7. Electroflocculación

El método de electroflocculación es un proceso químico donde se añade electrolítica de iones metálicos, las partículas que están en suspensión dentro del agua tienen un carácter

eléctrico por lo que se recolecta iones de carga opuesta, formando flóculos y con la gravedad del peso logran sedimentar (Taborda, 2002).

2.5.8. Fotocatálisis en la degradación de metales pesados

Este proceso de oxidación foto catalítica consiste en la destrucción de contaminantes empleando la radiación solar ultravioleta y catalizadores para formar hidróxilo, que luego tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos, la oxidación se realizará en las partículas que se utiliza como catalizador (Garcés, Mejía, & Santamaría, 2003).

2.6. Marco conceptual

- Metales pesados: son aquellos que tienen la densidad cinco veces más que el agua, metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que contenga alta densidad y toxicidad (Cardozo & Vargas, 2017).
- Cromo: es un elemento químico con número atómico 24 se encuentra en el grupo 6, su símbolo es Cr, es un metal que se utiliza en metalurgia. Las sales del cromo se pueden utilizarse como mordientes que es la fijación de colores, y los óxidos y cromatos se utilizan en pinturas (Porras, 2010).
- Coagulación: la coagulación consiste en introducir en el agua un producto que tenga la capacidad de neutralizar la carga de los coloides.
- Floculación: la floculación es la formación de flóculos, “a partir de la aglomeración de coloides, para ello se debe realizar un mezclado lento con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula de flóculo; una agitación demasiado intensa puede romperlos y raramente vuelven a adquirir el tamaño óptimo” (Cabrera, 2017, p. 11).

- **Curtiembre:** también conocida como curtiduría, es el sitio donde se lleva a cabo el proceso que permite transformar la piel de un animal muerto en cuero (Porras, 2010).
- **Remoción:** es modificar su posición, su estado, o la condición de una persona, objetivo.
- ***Moringa oleífera:*** es una especie de árbol originario del norte de India, pertenece a la familia moringaceae, también conocido marango. El género está compuesto por tres especies que son propias de climas tropicales y subtropicales, la planta crece en todo tipo de suelos.
- **Efluente:** un efluente es un fluido líquido de desecho procedente de una instalación industrial, son las aguas servidas que son vertidos a los cursos de agua y causan contaminación.
- **Agua residual industrial:** las aguas residuales industriales son las que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje (Lazo, 2017).
- **Turbiedad:** es la medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuando se encuentra en mayor cantidad los sólidos en suspensión el agua se encontrara más sucia, oscura, representa alta carga de materia orgánica. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad de agua.
- **Concentración:** se conoce como consecuencia al acto y consecuencia de concentrar; en química, la concentración de una solución es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución o de disolvente.

2.7. Marco legal

Las normas legales de agua son fijadas por el Ministerio del Ambiente MINAM, que establecen los límites de los parámetros.

- Ley de Recursos Hídricos N° 29338 fue promulgada el 30 de marzo de 2009, en el Título III “Uso de los recursos hídricos” se tienen artículos referentes al uso del agua, considerando 3 niveles de uso primario que se refiere a la utilización directa del agua de fuentes naturales y cauces; uso poblacional que se refiere a la captación del agua de una fuente o red pública con el debido tratamiento para satisfacer las necesidades básicas; uso productivo se refiere a la utilización del agua en procesos de producción mediante derechos de uso otorgados por la Autoridad Nacional del Agua (MINAGRI, 2009), Art. (35-39).
- Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE “Límites Máximos Permisibles” son aplicables por la autoridad competente a las actividades industriales manufactureras de cemento, cerveza, curtiembre y papel, los términos y condiciones se encuentran en el anexo 1 de los “Límites Máximos Permisibles de efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre” (Senace, 2015)
- Ley General del Ambiente N° 28611, Artículo I del Título preliminar, del derecho y deber fundamental menciona que toda persona tiene derecho a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado (MINAM, 2005).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio

La investigación se realizó en la industria de curtiembre de la Facultad de Química de la Universidad Nacional del Altiplano en Salcedo del distrito de Puno, ubicado a una altura de 3848 msnm a orillas del Lago Titicaca. Se encuentra en las coordenadas UTM 393045 E y 8244609 N, en la Figura 1 se presenta la industria de curtiembre ubicada en el J.F. Cáceres al frente de la Escuela Técnica Superior de la Policía Nacional y el Hospital III EsSalud Puno.



Figura 1. Ubicación de la industria de curtiembre.
Fuente: Google maps (2018).

Para realizar el procedimiento adecuado de la recolección de muestras (datos de ubicación, coordenadas, recolección, y fecha), se realizó el llenado de la cadena de custodia de recolección y traslado para su respectivo análisis en el Laboratorio RHLAB S.A.C., ver anexo 1.

Las muestras de agua se analizaron en el laboratorio RHLAB S.A.C. “Servicios Analíticos Químico – Metalúrgico Juliaca”, el metal cromo VI con el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, ver anexo 2.

3.2. Tipo de investigación

El diseño de investigación de este trabajo es experimental de tipo pre experimental, variando sus variables independientes.

- Variable independiente: concentración de la semilla de *Moringa oleífera*
- Variable dependiente: remoción de cromo VI en aguas residuales

3.3. Diseño de investigación (estadístico)

El diseño estadístico de la remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres utilizando el polvo de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural, se utilizó el diseño factorial 2^2 con tres repeticiones obteniendo 12 datos, los cuales los factores se mencionan en la Tabla 3, y el detalle de diseño de investigación factorial 2^2 ver en la Tabla 4.

Tabla 3.

Diseño de la investigación

Factores/niveles	-	+
pH	8	10
Concentración de <i>Moringa oleífera</i>	5 %	7 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.

Detalle de diseño de investigación factorial 2²

N°	pH	[concentración] %
T1-R1	8	5
T2-R1	10	5
T3-R1	8	7
T4-R1	10	7
T1-R2	8	5
T2-R2	10	5
T3-R2	8	7
T4-R2	10	7
T1-R3	8	5
T2-R3	10	5
T3-R3	8	7
T4-R3	10	7

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Materiales y equipos

3.4.1. Materia prima e insumos

- 500 g de Moringa
- 10 g de Hidróxido de Sodio (NaOH)

3.4.2. Materiales

- Mortero
- Tamiz
- Bagueta
- Vaso precipitado de 1000 ml, 500ml
- Botella de vidrio
- Cooler
- Matraz 250 mL
- Embudo
- Papel filtro
- Fiola 1L
- Luna de reloj

3.4.3. Equipos

- Balanza analítica Sartorius ENTRIS124-1S
- JLT Flocculation Tester (marca VELP científica)
- Espectrofotómetro de absorción atómica SensAA (marca GBC)
- Turbidímetro TB1 Turbidimeter (marca VELP científica)
- Peachímetro Mi 150 pH/Temperature Bench Meter (Milwaukee)

- Autoclave Automatic JISICO (modelo J-NAS)
- Agitador magnético MST DIGITAL F203A0450

3.4.4. Reactivos

- Cloruro de Sodio (NaCl) a 5M
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄) 95 – 98%
- Ácido nítrico (HNO₃) 65%
- Ácido clorhídrico (HCl) 37%
- Agua destilada
- Agua residual de curtiembres
- Etanol 95°

3.5. Procedimientos

3.5.1. Obtención del polvo de la semilla de *Moringa oleífera*

La cantidad utilizada de las semillas de *Moringa oleífera* fue de 500 g, seguidamente se realizó el pelado de la cáscara de las semillas de manera manual, luego se hizo el molido con mortero hasta obtener polvo, tamizarlo en tamiz de malla de 250 μ m para obtener partículas finas según (Feria et al., 2014), finalmente se almacenó el polvo de la semilla en bolsas ziploc o recipiente seco en un lugar fresco para evitar impurezas del ambiente según (Arias et al., 2017), en la Figura 2 se detalla el proceso de obtención de la semilla de *Moringa oleífera*.

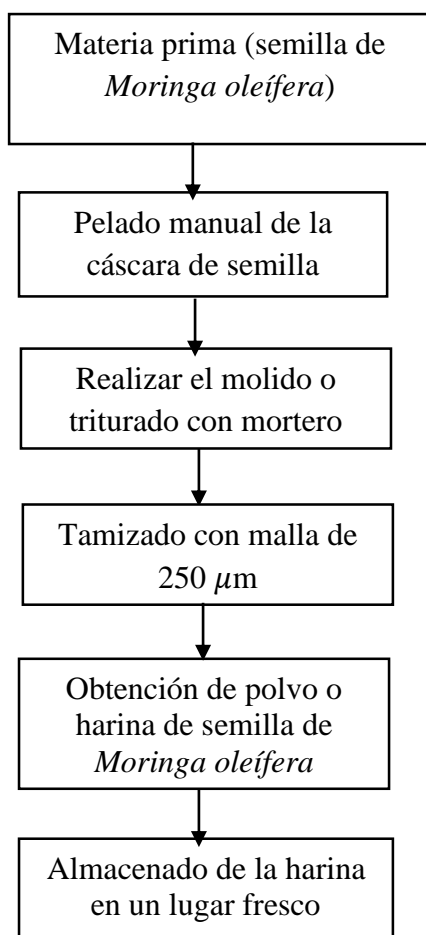


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de obtención de la semilla de *Moringa oleífera*.

Fuente: Adaptado de (Arias et al., 2017) y (Feria et al., 2014).

3.5.2. Extracción del aceite de la semilla de *Moringa oleífera*

En 200 mL de Etanol se agregó 50 g de polvo de la semilla de *Moringa oleífera*, se removió la solución por 2 min con un agitador magnético a 1300 rpm, luego la solución resultante se filtró con papel filtro en un embudo. Repetir el mismo procedimiento por 5 veces para la buena extracción del aceite, la muestra ya filtrada se dejó secar por 24 horas a temperatura ambiente (Arias et al., 2017), el proceso de extracción del aceite de la semilla *Moringa oleífera* se detalla en la Figura 3.

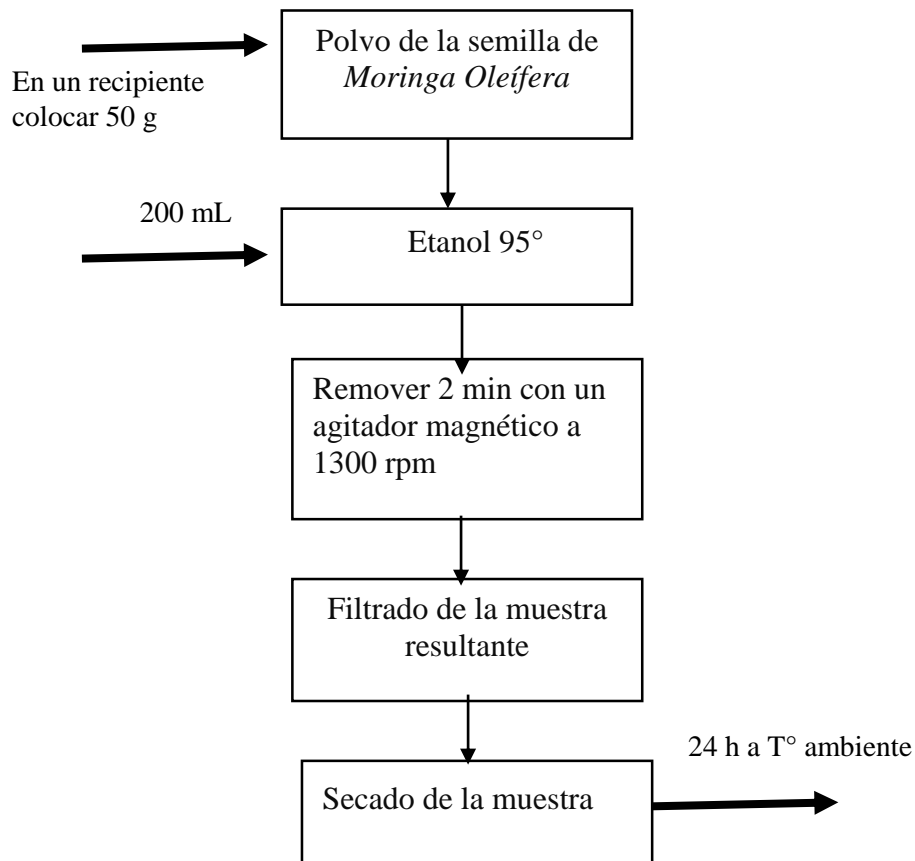


Figura 3. Diagrama de extracción del aceite de la semilla de *Moringa oleífera*.

Fuente: Adaptado de (Arias et al., 2017).

3.5.3. Obtención del coagulante al 5 %

Se preparó una solución de 5 M de NaCl, enseguida se mezcló la solución durante 20 min en un agitador magnético en 200 rpm para homogenizar, se añadió 50 g de polvo de la *Moringa oleífera* desengrasado en 1000 mL de solución, se agitó durante 10 min a 60 rpm en un agitador magnético, finalmente se filtró en papel filtro así se obtuvo la solución madre (Arias et al., 2017), en la Figura 4 se detalla con un diagrama la obtención de la concentración del coagulante al 5 %.

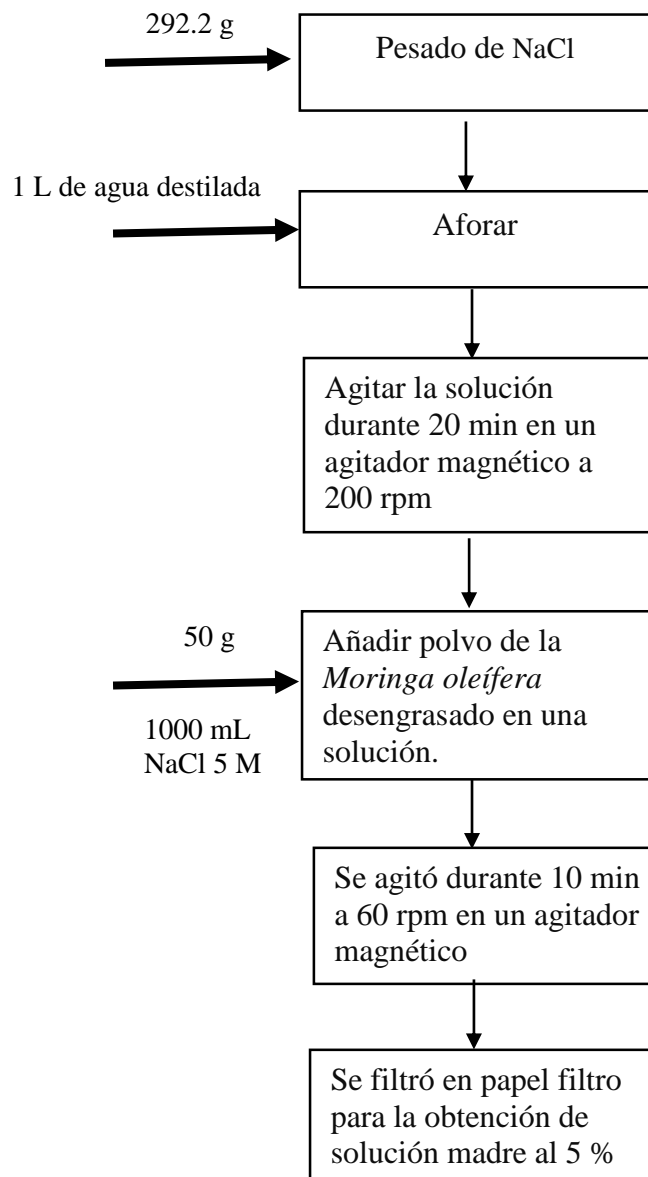


Figura 4. Diagrama de obtención de la concentración del coagulante al 5 % de *Moringa oleífera*.

Fuente: Adaptado de (Arias et al., 2017).

3.1.1. Prueba de jarras

El equipo de test de jarras se utilizó para determinar la disolución del floculante y también las velocidades de sedimentación. El equipo de test de jarras se encuentra en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión filial de la ciudad de Juliaca.

El polvo de la semilla de *Moringa oleifera* se utilizó como sustancia coagulante, se realizó 04 ensayos de prueba de jarras las cuales para la variación de pH se añadió hidróxido de sodio (NaOH) al 0.5 g y 1 g, para alcalinizar la muestra alcanzando un pH de (8 y 10). En vaso un precipitado de 500 mL de muestra de agua residual se añadió una concentración de 5 % y 7 % (25 mL y 35 mL) de coagulante, mezcla rápida 200 rpm por 60 segundos y mezcla lenta de 45 rpm por 10 min (Arias et al., 2017), el tiempo de sedimentación de 1 hora, como se muestra en el anexo 1. En la Figura 5 se muestra el porcentaje de concentración (5 % y 7 %) y valores de pH (8 y 10).

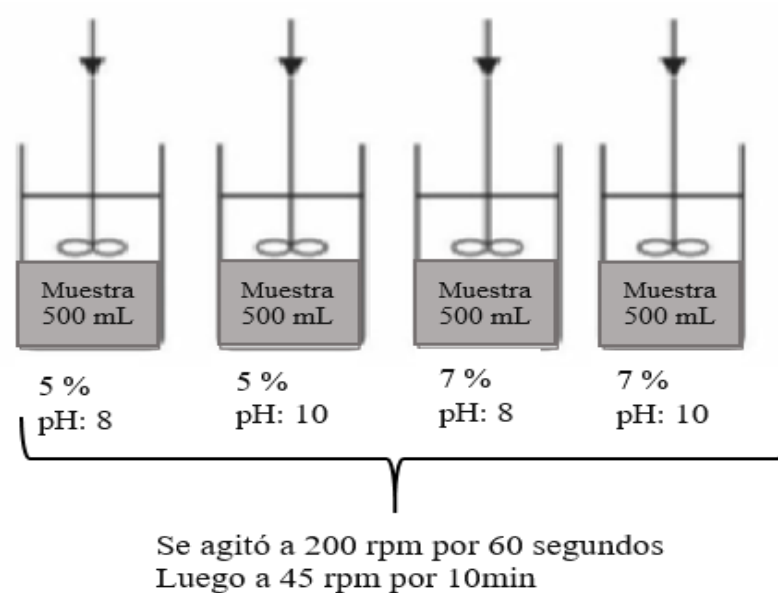


Figura 5. Diseño de experimentación en la prueba de jarras.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados de la experimentación

En la Tabla 5 se muestra las características fisicoquímicas del agua de la industria de Curtiembre. Como se puede observar pH de 6, cromo VI de 1.170 mg/L.

Tabla 5.

Características fisicoquímicas de agua de la industria de Curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química - UNA Puno.

Características fisicoquímicas	
pH	Cromo VI (mg/L)
6	1.170

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se muestran los resultados de la experimentación, con los factores de concentración de la semilla de *Moringa oleífera* y pH en la remoción de cromo VI, se observa que a medida que va aumentando los valores de pH y concentración de coagulante, el porcentaje de remoción de cromo VI incrementa. Los valores de pH fueron 8 y 10, a concentraciones de 5 % y 7 % (25 mL y 35 mL), ver Ecuación 1. La cual los resultados de cromo VI se comparan con el D.S. N° 003-2002 PRODUCE “Límite Máximo Permisible de efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, papel y curtiembre”, donde se puede observar que se encuentran dentro del Límite Máximo Permisible mencionado.

El autor Lagos (2017), afirma que se obtuvo una remoción de 95.6 % de cadmio, 90.4 % de hierro y 97.0 % de plomo aplicando la semilla de *Moringa oleifera* como adsorbente en agua artificial en la ciudad de Quito - Ecuador.

Tabla 6.

Resultados obtenidos de la experimentación.

Tratamiento	Muestra de agua	Concentración de coagulante %	Volumen de coagulante ml	pH	% remoción de Cromo VI	Cr VI mg/L	D.S. N° 003-2002 PRODUCE
1	R1	5	25	8		0.064	0.4
	R2	5	25	8	94.56	0.065	0.4
	R3	5	25	8		0.062	0.4
2	R1	5	25	10		0.058	0.4
	R2	5	25	10	95.1	0.058	0.4
	R3	5	25	10		0.057	0.4
3	R1	7	35	8		0.059	0.4
	R2	7	35	8	94.9	0.060	0.4
	R3	7	35	8		0.060	0.4
4	R1	7	35	10		0.052	0.4
	R2	7	35	10	95.6	0.052	0.4
	R3	7	35	10		0.050	0.4

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Determinación de las concentraciones y pH

Las concentraciones se determinaron para obtener el coagulante óptimo y los valores de pH adecuado para lograr la remoción de cromo VI. En la Figura 6, se muestra la representación gráfica en forma de superficie de respuesta de los datos experimentales de la Tabla 6, cada vez que aumenta los valores de pH y concentración de *Moringa oleifera*, también incrementa el porcentaje de remoción de cromo VI logrando alcanzar los niveles de los Límites Máximos Permisibles. El valor máximo de remoción de cromo VI, fue a una concentración de 7 % (35 mL) y pH de 10, removiendo el 95.6 %; el punto bajo fue a una concentración de 5 % (25 mL) y pH 8 removiendo el 94.6 % de cromo VI.

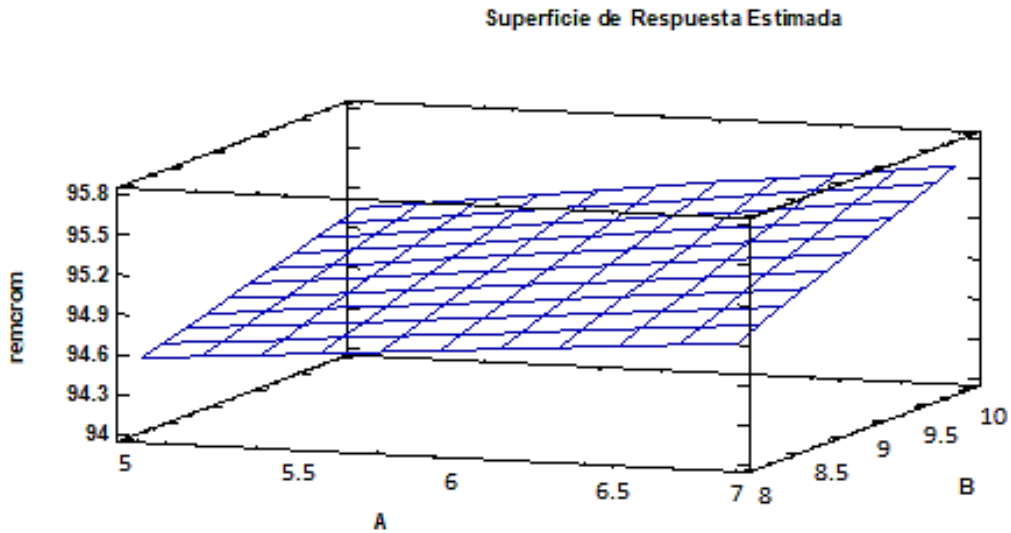


Figura 6. Superficie de respuesta estimada para cromo VI.

Fuente: Software Statgraphics Centurión.

Para la optimización del coagulante óptimo y pH adecuado para la remoción de cromo VI, se someten a la ecuación matemática cuyo modelo ajustado es: $RemCromoVI = 93.6933 + 0.014 * \text{porcentaje de concentración} + 0.01 * pH + 0.0406667 * \text{porcentaje de concentración y pH}$. En la Figura 7, se muestran los colores de los contornos de la superficie de respuesta estimada, se observa los valores de porcentajes bajos a porcentajes altos, donde el color azul indica un porcentaje bajo de remoción de 94 %, que no se muestra en el gráfico, el color café indica un porcentaje mayor de remoción de cromo VI con 96.8 %, mientras la línea rosada indica el valor óptimo de remoción de 95.6 % de cromo VI.

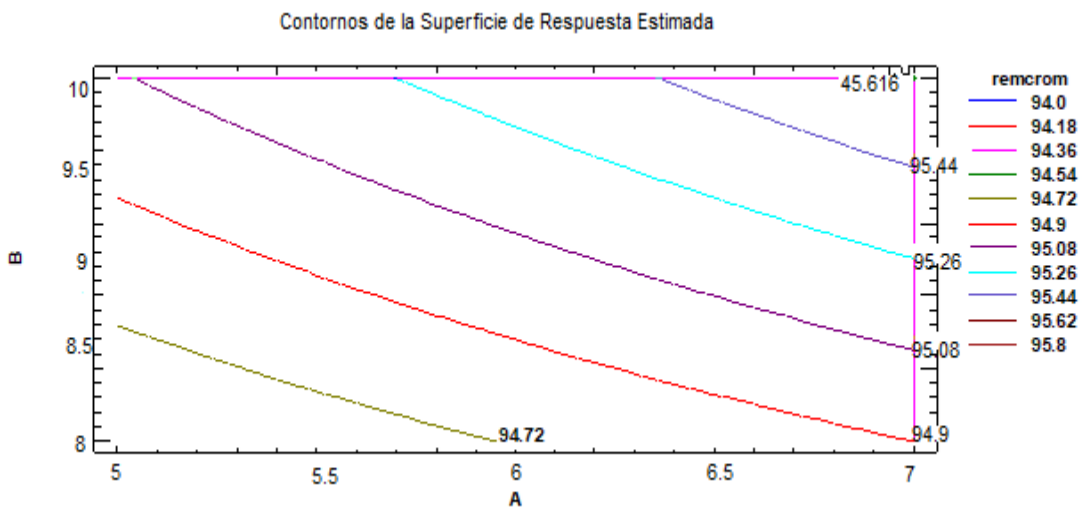


Figura 7. Contornos de la superficie de respuesta estimada para cromo VI.
Fuente: Software Statgraphics Centurión.

En la Tabla 7, se presenta el Análisis de Varianza indicando que el factor de concentración de la semilla de *Moringa oleífera* es significativa (0.000), y factor pH es significativa (0.000), la interacción entre la concentración del coagulante y pH no alcanzó un grado de significancia (0.0864), se deduce que la interacción no realiza el nivel de remoción de cromo VI significativamente ($P > 0.05$). El valor de coeficiente de determinación R- cuadrada es de 96.4 %, el coeficiente de determinación R-cuadrada depende de la concentración del coagulante y pH para la variabilidad de remoción de cromo VI, con nivel de significancia de 5 % y nivel de confianza de 95 %.

Tabla 7.

Análisis de Varianza ANOVA para remoción de cromo VI

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Concentración de <i>Moringa oleífera</i>	0.594075	1	0.594075	73.19	0.0000 *
pH	1.13468	1	1.13468	139.80	0.0000 *
Concentración de <i>Moringa oleífera</i> y pH	0.0310083	1	0.0310083	3.82	0.0864 NS
Error total	0.0649333	8	0.00811667		
Total (corr.)	1.82469	11			

Nota: R² = 96.4 % * significativo NS no significativo

Fuente: Software Statgraphics Centurión

En la Tabla 8 se muestra el valor óptimo para la remoción de cromo VI con una concentración de 7 % (35 mL) y pH 10, logrando remover el 95.6 % de cromo VI.

Tabla 8.

Valor óptimo de remoción de cromo VI

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración de <i>Moringa oleífera</i>	5	7	7
pH	8	10	10

Fuente: Software Statgraphics Centurión.

4.1.3. Determinación del porcentaje de remoción de cromo VI

Se determina el porcentaje de remoción de cromo VI para conocer cuánto de porcentaje de concentración y pH logran remover cromo VI de aguas residuales de curtiembre. En la *Figura 8*, se muestra los cuatro tratamientos con diferentes concentraciones y valores de pH, en donde el tratamiento 4 tiene un porcentaje mayor de 95.6 % de remoción de cromo VI, con una concentración de 7 % y pH 10.

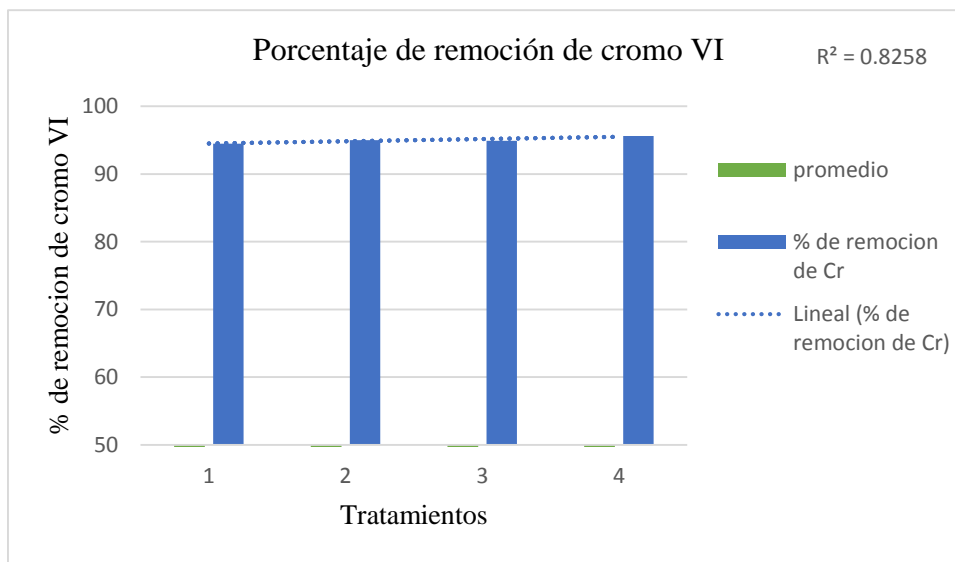


Figura 8. Porcentaje de remoción de cromo VI.

Fuente: Software Excel.

4.2. Discusión

La remoción de cromo VI fue efectiva con el polvo de la semilla de *Moringa oleífera* obteniendo un 95.6 %, a una concentración de 7 % y pH 10; según el autor Vela (2016) menciona que la *Moringa oleífera* disminuyó metales y turbidez en un 93.10 % y la mínima fue de 69.16 %.

La semilla de *Moringa oleífera* se utiliza como coagulante natural para remover metales pesados como arsénico, plomo removiéndolos en un 82.11 % y 99.90 % menciona (Hernandez et al., 2017). También la *Moringa oleífera* es eficiente en la reducción de concentración de metales como cadmio, cobre, zinc, hierro y níquel, con dosis óptima de 25mg/L; pudo remover el 71.4 % para cadmio, 75.3 % cobre, 99.2 % zinc, 60.8 % hierro, 73 % níquel, incluyendo la turbiedad el 87.4 % con dosis óptima de 25 mg/L (Mas et al., 2013).

Asimismo a la semilla de *Moringa oleífera* lo utilizan para el tratamiento de aguas residuales domésticas logrando ser eficiente en la remoción de turbidez el 87.3 % lo menciona (Mejia, 2017).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos en la remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres utilizando el polvo de la semilla de *Moringa oleífera* como coagulante natural en la industria de curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Puno, comprueban la eficiencia de remoción de Cromo VI en un porcentaje de 95.6 % permaneciendo dentro de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes para Alcantarillado de las Actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre del Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE, se demuestra que la semilla de *Moringa oleífera* se puede utilizar como coagulante en industrias de curtiembre, aguas residuales industriales al ser un método efectivo para el tratamiento de las aguas provenientes de industrias y lugares que no cuentan con tecnología y los recursos económicos para el tratamiento.

5.2. Recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos de remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno se tienen las siguientes recomendaciones en investigaciones futuras.

- La Universidad Peruana Unión como una institución científica debe seguir promoviendo la investigación científica y trabajos de tesis sobre tratamientos de aguas residuales industriales.

- Se recomienda en las siguientes investigaciones tener en cuenta en el tiempo de sedimentación de la muestra, ya que influye en la turbidez, pero en los antecedentes revisados mencionan diferentes tiempos de sedimentación de la muestra, para esta investigación se tomó el más apropiado de 1 hora de sedimentación para obtener una buena reducción de turbidez.
- Se recomienda utilizar el coagulante de *Moringa oleífera* como tratamiento de aguas residuales industriales de curtiembre para la remoción de cromo VI y reducción de turbidez en la industria de curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química UNA-Puno.
- Se recomienda extraer el aceite de la semilla *Moringa oleífera* para obtener un mejor resultado en el coagulante obtenido.

REFERENCIAS

- Acebedo, Y. P. (2016). *Eficiencia de la semilla marango (Moringa oleifera) como material adsorbente para la remoción de plomo del río Mantaro, en el distrito Paccha, Jauja, Junin, 2016*. Universidad Cesar Vallejo. Retrieved from [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3547/TESIS Viscosidad %28Bibliotecas UNAM%29.pdf?sequence=2](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3547/TESIS%20Viscosidad%20Bibliotecas%20UNAM%20.pdf?sequence=2)
- ADNAgro. (2016). moringa oleifera: árbol multiusos de interés forestal para el sur de la península Ibérica., pp. 1–12.
- Albadarin, A. B., Mangwandi, C., Al-Muhtaseb, A. H., Walker, G. M., Allen, S. J., & Ahmad, M. N. M. (2012). Modelling and fixed bed column adsorption of Cr(VI) onto orthophosphoric acid-activated lignin. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20(3), 469–477. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(11\)60208-5](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(11)60208-5)
- Arias, A., Hernández, J. L., Castro, A. F., & Sánchez, N. E. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. oleífera como coagulante natural. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 15(1), 29–39. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(edición especial\)29-39](https://doi.org/10.18684/bsaa(edición especial)29-39)
- Artiga, P. (2005). *Contribución a la mejora del tratamiento biológico de aguas residuales de la industria de curtidos*. Universidad de Santiago de compstela.
- Cabrera, L. F. (2017). Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara del tomate de árbol (*Solanum betaceum*). *Tesis*, 172. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14460>
- Cardozo, L. A., & Vargas, Y. A. (2017). *Evaluación de la contaminación en el suelo por plomo y cromo y planteamiento de alternativa de remediación en la represa del Muña municipio de Sibate-Cundinamarca*. Universidad de la Salle.
- Caviedes, I. D., Muñoz, A. R., & Perdomo, A. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales . *Revista Ingeniería y Region*, 13(1), 73–90.

- Concha, C. C., & Garcia, T. L. (2017). *Análisis de la concentración de cromo hexavalente con relación al pH en las aguas superficiales de la cienaga de las quintas en la ciudad de Cartgena de Indias*. Fundación Universitaria TECNOLÓGICO COMFE.
- Covarrubias, S. A., & Peña, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33, 7–21.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Feria, J. J., Bermudez, S., & Estrada, A. M. (2014). *Eficiencia de la semilla Moringa oleifera como coagulante natural para la remocion de la turbidez del rio Sinu*. (Produccion Limpia, Ed.) (Volumen 9). 2014.
- Garcés, L. F., Mejía, A. E., & Santamaría, J. J. (2003). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista De Investigación*, pp. 83–92.
- Hernandez, M. L., Rivas, H. C., & Ventura, G. (2017). *Evaluación de la efectividad de la semilla de Teberinto (Moringa oleífera Lam .) como método de remoción de arsénico y plomo en agua para consumo humano*. el Salvador.
- Lagos, A. S. (2017). *Adsorción de cadmio , hierro y plomo en agua artificial utilizando Moringa oleifera Lam . Proyecto de titulación de pregrado. Ingeniería Química, USFQ*.
- Lagos, L. (2016). *Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local. Pontificia Universidad Católica del Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lazo, E. A. (2017). *Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una Curtiembre de mediana capacidad del parque Industrial de Rio Seco, Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín Arequipa.
- Mas, M., Carrasquero, S., Martínez, D., Mejias, G., & Vargas, L. (2013). Eficiencia de las semillas Moringa oleifera como coagulante orgánico en la remoción de metales en

- aguas de baja turbiedad Efficiency of the moringa oleifera seeds as organic coagulant for metal removal in low turbidity wastewaters. *Revista Tecnocientífica URU*, (May 2015), 27–37.
- Mejia, P. W. (2017). *Uso de la moringa oleifera lam. (moringaceae) como coagulante natural para el tratamiento primario de aguas residuales domesticas. Universidad Cesar Vallejo*. Cesar Vallejo. Retrieved from <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/unidades-academicas/facultades/ingenieria/ingenieria>
- Mera, C. F., Gutiérrez, M. L., Montes, C., & Paz, J. P. (2016). *Efecto Moringa oleifera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (Vol. 14). [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)100-109](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)100-109)
- MINAGRI. Ley de recursos hidricos N° 29338 (2009).
- MINAM. Ley General del Ambiente N° 28611 (2005).
- Ministerio de Vivienda, C. y S. D.S. N° 021-2009-VIVIENDA “Aprueban Valores Maximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistemas de alcantarillado sanitario” (2009).
- Olivos, O. E. Tratamiento de Aguas Residuales: Caracteristicas de aguas residuales, Universidad Nacional - Facultad de Minas 8 (2010).
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Biblioteca Nacional Del Perú N° 2014-05991*, p. 42. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Paez, L. J. (2008). *Validación secundaria del método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales y escherichia coli en muestras de agua para consumo humano analizadas en el laboratorio de salud publica del Huila. Pontificia Universidad Javeriana*. Pontificia Universidad Jareviana. Retrieved from <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis221.pdf>
- Porras, Á. (2010). Descripción de La nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de*

- Medellín, 9(17), 10. Retrieved from <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=75017164003%5Cnhttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75017164003%5Cnhttp://www.redalyc.org/pdf/750/75017164003.pdf>
- Portada, A. (2016). *Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido en pieles por procesos fisico-químico de la curtiembre de la facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno. tesis*. Universidad Nacional Puno.
- Ramirez, J. J. (2016). *Efecto del pH y el tamaño de partícula de Chondracanthus chamissoi en adsorción de cromo del efluente de curtiembre "Chimú SAC"-Trujillo 2016*. Cesar Vallejo. Retrieved from http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13034/Chávez_Hinostroza_Carlos_Alberto_-_Chegne_Chávez_Jesús_Andrés.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rivera, A. C. (2017). *"Uso de Moringa oleifera y carbon activado para el mejoramiento de la calidad del agua residual de lavado vehicular en el distrito de San Martín de Porres - Lima 2017."* Universidad Cesar Vallejo. Retrieved from http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3547/TESIS_Viscosidad%28Bibliotecas_UNAM%29.pdf?sequence=2
- Roig, B. (2006). Evaluación de las tecnologías de tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con Cromo, 105.
- Rojas, N. G., Villanueva, P., Campos, E., Alma, M., & Rodríguez, V. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera Año, 14*, 109–129.
- Rondón, M., Díaz, Y., Rodríguez, S., Guerra, B., Fernández, E., & Tabio, D. (2017). Empleo de semillas de Moringa oleifera en el tratamiento de residuales líquidos. *SciELO, XXXVIII(2)*, 87–101. <https://doi.org/1815-591X>
- Sandoval, M. M., & Laines, J. R. (2013). Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería, 12(2)*, 93–101.
- Santibáñez, L. P. (2008). Precipitación química y adsorción en el tratamiento de efluentes

conteniendo metales disueltos, 4.

Senace. Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE, 1 Sistema Peruano de Informacion Juridica (Ministerio de Justicia) § (2015).

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Taborda, G. (2002). Electrocoagulación de aguas residuales. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 34(2), 4. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Taborda, G. O., Zuluaga, V. R., Palomá, L. P., & Penagos, J. P. G. (2011). Aplicación de métodos electroquímicos en la remoción de materia orgánica en los jugos producto del beneficio del fique: alternativa biotecnológica para mitigar la contaminación en los afluentes hídricos. *Nova*, 9(15), 61–64.


Tapia, J., Free, J., Mansilla, H., Villaseñor, J., Bruhn, C., & Basualto, S. (2002). Estudio de reducción fotocatalizada de cromo Hexavalente. *Boletín de La Sociedad Chilena de Química*, 47(4), 469–476. <https://doi.org/10.4067/S0366-16442002000400018>

Urquia, K. (2017). *Eficiencia de la Opuntia Ficua-indica frente a la Moringa oleifera en el tratamiento de aguas del rio Huaycoloro*. Universidad de Cesar Vallejo. Retrieved from <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/unidades-academicas/facultades/ingenieria/ingenieria>

Vela, C. T. (2016). *Disminucion de la turbidez utilizando coagulante natural Moringa Oleifera en aguas obtenidas del rio Alto Chicama, puente Ingon, Trujillo*. Universidad cesar Vallejo.

Anexos

Anexo A. Cadena de custodia

	RHLAB SAC Av. Mañabes del 4 de noviembre N° 2414 - Juliaca Tel: 978645480 935008140	H.C.C. N°:	HOJA: de	Código Reg. F-005-18 Versión: 01
	CADENA DE CUSTODIA - AGUA		Aprob por: Gerente de Operaciones	Fecha Rev: 01/06/2018

Señores: Ing. Bach. Maritza Olivera Huacasi Dirección: Jr. González Prado con Jr. Morogogo Atención:	DNI: 70147567 Teléfono: 916373297 e-mail: maritza.olivera@gmail.com	Proyecto/ Programa: Remoción de como 41 de aguas residuales de curtiembre utilizando el polvo de la semilla de Moringa oleifera como coagulante natural en la región Puno, 2018	Consultas: Gerencia de Operaciones e-mail: rhlabperu@gmail.com									
Responsable del muestreo:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Muestra(s):</td> <td style="width: 25%;">Puntual(es) para formar conposito</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Puntual(es)</td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Composito(s)</td> <td></td> </tr> </table>	Muestra(s):	Puntual(es) para formar conposito			Puntual(es)	x		Composito(s)			
Muestra(s):	Puntual(es) para formar conposito											
	Puntual(es)	x										
	Composito(s)											

Codigo RH (campo para ser llenado solo por el laboratorio)	Fecha	Hora	Matriz*	Codigo de campo	Nombre de la Muestra	Lugar de muestreo		N° frascos		Volumen total (L)
						Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM	Plastico	Vidrio	
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 0	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 1	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 2	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 3	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 4	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 5	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			

NOTA: Colocar el nombre de la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el informe de ensayo

Campos para llenarse cuando se recepcionan las muestras en RHLAB SAC

Observaciones:

.....

.....

.....

Recipiente(s) adecuado(s):

Muestras recibidas intactas:

Conservación de muestras:

Condiciones transporte:

SI	NO		SI	NO	
X		Blanco viajero:			Fecha de recepción:
X		Blanco de Campo:			Hora de recepción:
X		Duplicados:			Temperatura CV:
Transporte Adecuado					

(* Matriz de muestra: Leer la información de hoja anexa para colocar las siglas.


Firma: 
 Repres. Cliente: **Maritza Olivera Huacasi**



Firma: 
 Recibido RH:  **Pidel Mañanapata Luque**
 CIP 167753
 GERENTE DE OPERACIONES

IL.C.C. N°:

HOJA: de

 RHLAB SAC Av. Marfies del 4 de noviembre N° 2414 - Juliaca Tel: 978545480 938008140	CADENA DE CUSTODIA - AGUA	Código Reg: F 005-18	Versión: 01
		Aprob por: Gerente de Operaciones	Fecha Rev: 01/06/2018

Señores: Ing. Bach. Maritza Olivera Huacasi Dirección: Jr. Gonzales Prado con Jr. Moruega Atención: Responsable del muestreo:	RUC: 70147567 DNI: Proyecto/ Programa:	Teléfono: 916373297 e-mail: maritza.olivera@gmail.com Remoción de Cromo VI de aguas residuales de Curtiembre utilizando el polvode la semilla de Heringa, oleífera como coagulante natural en la región Puno, 2018	Consultas: Gerencia de Operaciones e-mail: rhlabperu@gmail.com
--	---	--	---

Codigo RH (campo para ser llenado solo por el laboratorio)	Fecha	Hora	Matriz*	Codigo de campo	Nombre de la Muestra	Lugar de muestreo		N° frascos		Volumen total (L.)
						Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM	Plástico	Vidrio	
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 6	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 7	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 8	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 9	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 10	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			
	13/11/18	3:00 pm	RI		Muestra 11	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			

NOTA: Colocar el nombre de la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el informe de ensayo

Campos para llenarse cuando se reciben las muestras en RHLAB SAC:

Observaciones:

Recipiente(s) adecuado(s): Muestras recibidas intactas: Conservación de muestras: Condiciones transporte:	<table border="1"> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> <tr> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>X</td> <td></td> </tr> </table>	SI	NO	X		X		X		Blanco viajero Blanco de Campo Duplicados:	<table border="1"> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	SI	NO							Fecha de recepción: Hora de recepción: Temperatura CV:
SI	NO																			
X																				
X																				
X																				
SI	NO																			

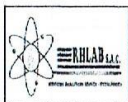
(* Matriz de muestra: Leer la información de hoja anexa para colocar las siglas

Firma 
 Repres. Cliente Maritza Olivera
 Huacasi



Firma 
 Armenegildo Checcalla Gámez
 DNI: 012 12 228

Firma 
 Recibido RHL
 Ing. Fidel Huaynapata Luque
 CIP 167755
 GERENTE DE OPERACIONES



RHLAB SAC
 Av. Mariscal del 4 de noviembre N° 2414 - Juliaca
 Tel: 978545480 935008140

ILCC. N°:

HOJA: de

CADENA DE CUSTODIA - AGUA

Código Reg: F-005-18

Versión: 01

Aprob por:
Gerente de Operaciones

Fecha Rev:
01/06/2018

Señores: Ing. Bach. Maritza Olivera Huacasi

RUC: 70147567
DNI:

Teléfono: 976373297 e-mail: maritza.olivera@gmail.com

Dirección: Jr. Gonzalez Prada con Jr. Moquegua

Proyecto/ Programa:

Remoción de esomo VI de aguas residuales de
curtiembre utilizando el polvo de la semilla de
Naringa Oleifera como coagulante
natural en la región Puno,
2018

Consultas:

Gerencia de Operaciones

Atención:

Muestra(s):

Puntual(es) para formar composito	
Puntual(es)	x
Composito(s)	

Responsable del muestreo:

e-mail: rhlabperu@gmail.com

Codigo RH (campo para ser llenado solo por el laboratorio)	Fecha	Hora	Matriz*	Codigo de campo	Nombre de la Muestra	Lugar de muestreo		N° frascos		Volumen total (L)
						Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM	Plastico	Vidrio	
	13/11/18	3:00pm	RI		Muestra 12	Industria de Curtiembre - Salcedo - Puno	393045 E 8244609 N			

NOTA: Colocar el nombre de la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el informe de ensayo

Campos para llenarse cuando se reciben las muestras en RHLAB SAC:

Observaciones:

.....

.....

.....

.....

Recipiente(s) adecuado(s):
 Muestras recibidas intactas:
 Conservación de muestras:
 Condiciones transporte:

SI	NO	Blanco viajero Blanco de Campo Duplicados:	SI	NO	Fecha de recepción:
X					Hora de recepción:
X					Temperatura CV:
X					Transporte Adecuado

(* Matriz de muestra: Leer la información de hoja anexa para colocar las siglas.

Firma:
 Repres. Cliente: Maritza Olivera
 Huacasi

Firma:
 Entrega a:
 Hernán Gil, Che Calle Gómez
 DNI: 01212228

Firma:
 Recibido RHLAB: Piedad Huaynapata Luque
 CIP: 167755
 GERENTE DE OPERACIONES

Anexo B. Panel fotográficos



Lugar de muestreo de agua residual de curtiembre



Industria de curtiembre



Lavado del cuero



Semillas secas de *Moringa oleifera*



Pelado de las semillas de *Moringa oleifera* de manera manual



Semillas peladas blanquecinas



Molienda de las semillas



Molido de la semilla



Tamizado de las semillas



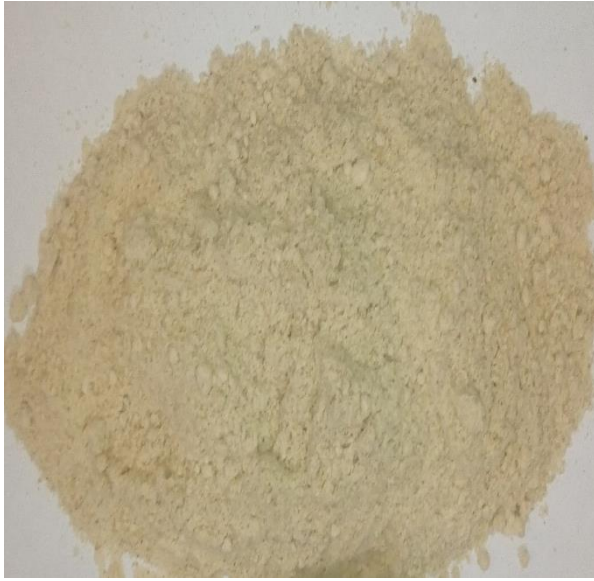
Filtrado del desengrasado de *Moringa oleífera* primera agitación magnética



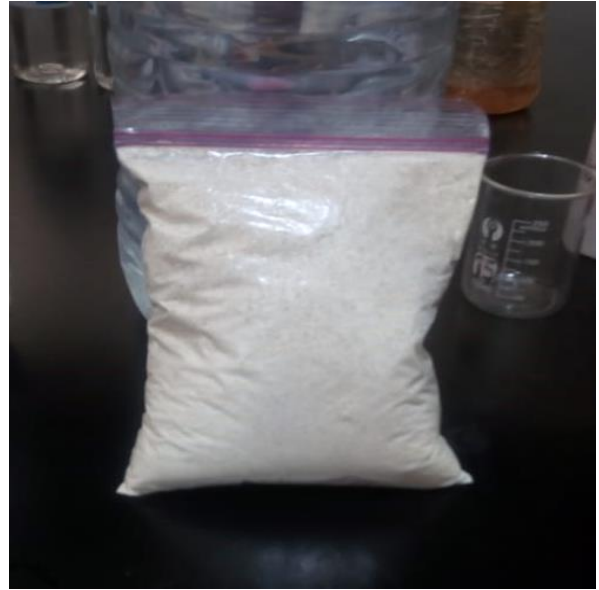
Filtrado del desengrasado de *Moringa oleífera* última agitación



Desengrasado de *Moringa oleífera* con alcohol (etanol al 95°)



Molido de las semillas



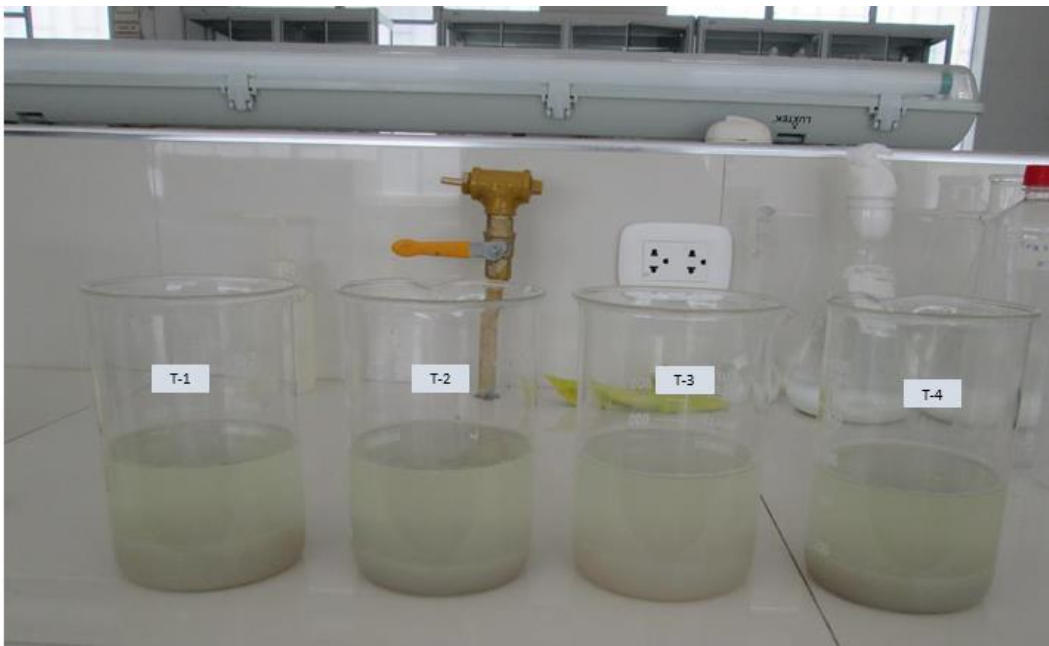
Almacenado de la semilla *Moringa oleifera* desengrasada



Solución madre al 5 %



Prueba de jarras con 4 tratamientos

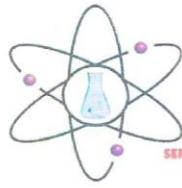


Prueba de jarras (1 hora de sedimentación)



Comparación del agua de curtiembre antes y después del
tratamiento (1 hora de sedimentación)

Anexo C. Informes de laboratorio



RHLAB S.A.C.
SERVICIOS ANALÍTICOS QUÍMICO - METALÚRGICO

RH-M22-137

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE	:	Bach. Maritza Olivera Huacasi
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido Metalico total en la muestra
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA		
DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA	:	Muestra Agua residual
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	13
UBICACIÓN	:	Coordenadas 393045 8244609
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis metálico cromo VI
MOTIVO	:	Remocion de cromo VI de aguas residuales de curtiembre utilizando el polvo de la semilla de <i>Moringa Oleifera</i> como coagulante natural en la region Puno, 2018
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Botella de Plastico, debidamente conservado y refrigerado
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	13/11/2018 al 20/11/2018
DETALLE DEL INFORME		

REPORTE DE ENSAYO

N°	N°RH	Código de Cliente	Cr VI mg/lit
1	RH-M20-453	Muestra 0	1.170
2	RH-M20-454	Muestra 1	0.064
3	RH-M20-455	Muestra 2	0.058
4	RH-M20-456	Muestra 3	0.059
5	RH-M20-457	Muestra 4	0.052
6	RH-M20-458	Muestra 5	0.065
7	RH-M20-459	Muestra 6	0.058
8	RH-M20-460	Muestra 7	0.060
9	RH-M20-461	Muestra 8	0.052
10	RH-M20-462	Muestra 9	0.062
11	RH-M20-463	Muestra 10	0.057
12	RH-M20-464	Muestra 11	0.060
13	RH-M20-465	Muestra 12	0.050

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

- * Los resultados, son validados en el Laboratorio RHLAB S.A.C.
- * Determinación de cromo VI en agua - Método espectrofotometría de Absorción Atómica


Ing. Fidel Huaynapata Luque
CIP 167755
GERENTE DE OPERACIONES

Av Martires del 4 de Noviembre N° 2414 (Salida Puno - Frente a Covisur)
Cel: 978645480 - 935008140



RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-006

Una Institución Adventista

CLIENTE : Maritza Olivera Huacasi
DIRECCIÓN : Jr. Gonzales Prada N° 152
LUGAR DE MUESTREO : Industria de Curtiembre de Facultad de Química
de la Universidad Nacional de Puno
TIPO DE MUESTRA : Agua Industrial
COORDENADAS : 393045 E; 8244609 N
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 13/11/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 13/11/2018
MUESTREADO POR : El cliente

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA			
Análisis	Unidad	Valor obtenido	Método
Fisicoquímicos			
Turbidez	UNT	263	Nefelometría

Juliaca, 14 de noviembre del 2018



Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPEU FJ




RESULTADO DE ANÁLISIS
UPEU – FIA/ING-AMBIENTAL 2018-007

Una Institución Adventista

CLIENTE : Maritza Olivera Huacasi
DIRECCIÓN : Jr. Gonzales Prada N° 152
LUGAR DE MUESTREO : Industria de Curtiembre de Facultad de Química
de la Universidad Nacional de Puno
TIPO DE MUESTRA : Agua Industrial
COORDENADAS : 393045 E; 8244609 N
F. RECEPCIÓN DE MUESTRA : 18/11/2018
F. INICIO DE ENSAYOS : 18/11/2018
MUESTREADO POR : El cliente

Análisis de Calidad de aguas				
N° de ensayos	Código/ repeticiones	Unidad	Parámetro	Método
			Turbidez	
1	R1-T1	UNT	11.5	Nefelometría
2	R1-T2	UNT	11	Nefelometría
3	R1-T3	UNT	12.1	Nefelometría
4	R1-T4	UNT	11.8	Nefelometría
5	R2_T1	UNT	11	Nefelometría
6	R2_T2	UNT	12.3	Nefelometría
7	R2_T3	UNT	11.8	Nefelometría
8	R2_T4	UNT	11.6	Nefelometría
9	R3-T1	UNT	12	Nefelometría
10	R3-T2	UNT	11.3	Nefelometría
11	R3-T3	UNT	10.8	Nefelometría
12	R3-T4	UNT	11.2	Nefelometría

Juliaca, 19 de noviembre del 2018



Jefe de Laboratorio
ING. AMBIENTAL - UPEU FJ

Ecuación de dilución

Para calcular el volumen de coagulante a una concentración de 5 y 7 %, se realizó la siguiente ecuación:

Dilución

$$\underbrace{\text{Concentración inicial} * \text{Volumen inicial}}_{\substack{\text{Concentración de soluto} \\ \text{antes de la disolución}}} = \underbrace{\text{Concentración final} * \text{Volumen de muestra de}}_{\substack{\text{Concentración de soluto} \\ \text{después de la disolución}}}$$

agua

$$C * V = C * V$$

$$100 \% * V = 5 \% * 500 \text{ mL}$$

$$V = \frac{5 \% * 500 \text{ mL}}{100 \%}$$

$$V = 25 \text{ mL}$$

$$C * V = C * V$$

$$100 \% * V = 7 \% * 500 \text{ mL}$$

$$V = \frac{7 \% * 500 \text{ mL}}{100 \%}$$

$$V = 35 \text{ mL}$$

Quiere decir que se tiene que añadir 25 mL y 35 mL de la solución madre al 5 %.