

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EFICIENCIA DE *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller
y *Echinopsis pachanoi* EN LA REMOCIÓN DE
PLOMO (II) DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO
MOCHE - TRUJILLO 2019-2020”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL



Autoras:

Santos Ermelinda Campos Altuna

Jomy Corina Rios Velasco

Asesor:

Ing. Liana Ysabel Cardenas Gutierrez

Trujillo - Perú

2021

DEDICATORIA

A mis padres por haberme dado la existencia y forjado en valores.
A Cristina, por su constante apoyo en este camino y por ser mi principal motivación de
superarme día a día.

Ermelinda.

A mis padres José y Milagros, por ser fuente de inspiración y apoyo para mi superación
personal.

A mi hermana Belén, por la motivación y confianza que me brinda día a día.

Corina.

AGRADECIMIENTO

A nuestro creador, por la vida y su infinita misericordia A nuestros padres, familiares y amigos cercanos, por todo el apoyo y paciencia.

Al PRONABEC, por la confianza y los recursos brindados a lo largo de la carrera y para el logro de esta meta.

A nuestra alma máter y docentes, por ser promotores de nuestra educación y brindarnos las facilidades para impulsar nuestro trabajo de grado, a pesar de la coyuntura.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. MÉTODO.....	33
CAPÍTULO III. RESULTADOS	42
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	48
REFERENCIAS	59
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental.....	34
Tabla 2. Análisis de varianza de los promedios de remoción de Pb (II) con relación al tiempo, concentración de coagulante y tipo de especie	42
Tabla 3. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los promedios de remoción de Pb (II), con relación a los 3 niveles del factor Concentración de Coagulante	43
Tabla 4. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los promedios de remoción de Pb (II), con relación a los 2 niveles del factor Tipo de Especie.....	44
Tabla 5. Prueba de Comparaciones Múltiples de Tukey de los promedios de remoción de Pb (II), con las interacciones entre Concentración de coagulante y Tipo de especie	46
Tabla 6. Valores iniciales promedio de pH, conductividad y oxígeno disuelto de las aguas de la cuenca alta del río Moche, 2019-2020	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de caja y bigote para la evaluación del porcentaje de remoción de Pb (II) con relación a los diferentes niveles de concentración de coagulante	44
Figura 2. Gráfico de caja y bigote para la evaluación del porcentaje de remoción de Pb (II) con relación a los diferentes tipos de especies	45
Figura 3. Gráfico de caja y bigote para la evaluación del porcentaje de remoción de Pb (II) con relación a las interacciones entre la concentración de coagulante y tipo de especie	46

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Porcentaje de remoción.....	31
---	----

RESUMEN

El presente estudio tuvo como finalidad determinar la eficiencia de las cactáceas *Opuntia ficus-índica* (L.) Miller “nopal” y *Echinopsis pachanoi* “san pedro” en la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche, las muestras fueron tomadas en los meses de noviembre 2019 a enero del 2020 y se trabajó con tres concentraciones 20 ppm, 30 ppm y 40 ppm. Esta se desarrolló en base a la metodología de prueba de jarras. Para el análisis de ambas especies se tuvo en cuenta las concentraciones iniciales de los parámetros orgánicos (pH, conductividad y oxígeno disuelto) estos se midieron a través del método electrométrico, y el parámetro inorgánico (Pb II, que se midió por espectrofotometría de absorción atómica), utilizando un tiempo de remoción de 30 minutos. Los resultados obtenidos evidencian la efectividad de ambas especies como coagulantes naturales, presentando valores de porcentaje de remoción de Pb (II) en un rango de 55% a 69% para la especie *Opuntia ficus-índica* (L.) Miller “nopal” y de 16% a 43% para la especie *Echinopsis pachanoi* “san pedro”. Se determinó que la concentración óptima para ambas especies es de 20ppm y el *Opuntia ficus-índica* (L.) Miller “nopal es la cactácea más efectiva en la remoción de Pb.

Palabras clave: Coagulación, floculación, remoción, mucílago, nopal, san pedro, concentración

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La disminución de la calidad del agua se establece como uno de los problemas ambientales más destacados de la humanidad. Esta contaminación se produce a una tasa diaria aproximada de 2000 millones de metros cúbicos, por lo que resulta innegable una escasez del recurso a largo plazo (Reyes et al., 2016). Esta es causada por factores naturales y antropogénicos, como la producción industrial, agrícola y minera, en las cuales se incorpora el uso de diversos metales pesados. Muchas de estas sustancias son requeridas en la dieta de los organismos en cantidades reducidas como el cobre, zinc y hierro, pero existen otros que es mejor evitar. Estos logran introducirse en los ríos, animales y alimentos, por tanto, en las cadenas tróficas, y generan riesgos potenciales en la salud humana y animal, como la alteración en los procesos fisiológicos y bioquímicos causando diversas patologías; además de modificar la dinámica de los ecosistemas (Londoño y Muñoz, 2016).

La polución de los recursos hídricos por metales pesados resulta ser un problema crítico debido a lo dificultoso de su control por su toxicidad, persistencia y la bioacumulación que presentan en los sedimentos y tejidos de los organismos acuáticos. Se define a un metal pesado como un contaminante inorgánico con densidad mayor a 5g/cm³ (Li et al., 2014). Además, los metales pesados no poseen función biológica y en determinadas proporciones afectan las funciones vitales de los seres vivos (Fu et al., 2014). Así, sus efectos tóxicos responden a su concentración y a la vía de exposición (Armijo et al., 2019).

De acuerdo con la Agencia Europea del Medio Ambiente (2011), de estos metales, los más perjudiciales para la salud son el cadmio, plomo y mercurio. Esto debido a que

pueden provocar cáncer, alteraciones en los sistemas nervioso, circulatorio e inmunológico, y en concentraciones muy altas pueden generar la muerte (Barakat, 2011). En el caso del plomo, es una especie química estable y persistente, presente en el ambiente de manera natural, pero sobre todo por causas antropogénicas. No posee función biológica y es de difícil absorción, lo que lo convierte en un metal tóxico y acumulativo (Ramos, 2002; Ubillus, 2003; Riaño, 2007).

Concentraciones altas de plomo en la ingesta por parte de los humanos y animales genera intoxicación, incluso la muerte en estos últimos por su relativa susceptibilidad a esta sustancia. Sus efectos en la salud humana comprenden trastornos cardiovasculares e hipertensión en adultos, mientras que en los niños genera retraso del desarrollo intelectual (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2011). Cuando este metal es absorbido por el organismo, se distribuye en el encéfalo, hígado, riñón y huesos. Estos últimos son su principal almacén por inclusive 20 años, interfiriendo con el papel del calcio, además de impedir la síntesis de hemoglobina y provocar daño neurológico (Environmental Health Criteria, 1998).

Una vez que los metales se insertan en un medio acuático, transmutan a través de etapas biogeoquímicas, distribuyéndose entre una variedad de especies poseedoras de diferentes propiedades físico-químicas, como partículas menores a $0,45 \mu\text{m}$, coloides entre 1 nm - $0,45 \mu\text{m}$ y sustancias disueltas de tamaño de 1 nm (Martorell, 2010, en Reyes et al., 2016). Los dos primeros desempeñan un papel clave en la potabilización de aguas, específicamente en la coagulación, la sedimentación y en los procesos de adsorción (Reyes et al., 2016). Es así que, organismos como el Ministerio del Ambiente establecen los niveles de concentración de plomo que no representan un riesgo importante para la salud de las

personas ni del ambiente, denominados Estándares de Calidad Ambiental para agua (Macías, García y Chaparro, 2017; D.S. 004-2017-MINAM).

A nivel de Europa, la mayoría de ríos presentan altas concentraciones de metales pesados. Entre 1991 a 1993, se observó que la concentración media de cadmio fue hasta 50 veces superior en ríos contaminados, respecto a los de buena calidad. El plomo se presentó 9 veces mayor y el cromo 11 veces. Desde entonces, dichas concentraciones han ido disminuyendo debido a las diversas medidas tomadas por los gobiernos, como exigentes normativas, mejora en el tratamiento de aguas residuales, entre otras (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2011).

En la región de Murmansk-Rusia, las fuentes de agua superficial contiguas a sus grandes fábricas metalúrgicas, los niveles de níquel y cobre se valoran como tóxicos para la salud humana; y por lo menos cinco de estas fuentes contemplan ecosistemas totalmente extintos. En Escandinavia, existen niveles de mercurio en peces superiores a los tolerables, sanitariamente. Por ejemplo, en aproximadamente 40000 lagos suecos se alojan lucios con concentraciones de este metal superiores a los valores establecidos para consumo humano de 0.5 mg/Kg (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2011).

A nivel de Latinoamérica, la pérdida de la calidad de aguas superficiales por metales pesados es una problemática reiterativa. En países como Argentina, México, Chile, El Salvador, Nicaragua, Bolivia y Perú, alrededor de cuatro millones de habitantes se abastecen de aguas con alto niveles de arsénico (Bundschuh et al., 2012). En un estudio de calidad de aguas de diversos ríos de Colombia, se identificaron concentraciones elevadas de cadmio y plomo. Esta como resultado de las actividades mineras, agroindustriales, de curtiembre y ganaderas, dadas a lo largo de la cuenca del río Bogotá (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014).

En relación a Chile, estudios indican una baja calidad del agua de sus cuencas. Tal es el caso de la cuenca del río Ayuquila, donde al realizarse un monitoreo de agua de febrero a mayo del 2014, se obtuvo que el 100% de las muestras tomadas posee concentraciones de mercurio superiores a los límites permisibles, y el 92.5% para plomo. Esta contaminación sería causada por la agricultura intensiva, actividades industriales y urbanas. (Fregoso et al., 2017). Además, un estudio realizado en el estado de Puebla, México de sus principales ríos, recomienda el uso de estos afluentes para riego agrícola y uso urbano; con excepción del 3.26% de los ríos que exceden la concentración de mercurio. Según los límites permisibles dados por la EPA (1986), el 1, 30, 15 y 20% de las matrices superan los niveles de As, Cd, Pb y Hg, respectivamente (Mancilla et al., 2012).

Como se observa en los apartados anteriores, esta contaminación de las aguas continentales por metales pesados es un problema recurrente en la mayoría de países de América Latina, donde Perú no se encuentra eximido. Esta tiene un origen natural, pero sobre todo antropogénico ligado al mal manejo de los relaves mineros, pues son vertidos sin tratar, en muchos casos, en los cuerpos naturales de agua (Huaranga et al., 2012; Reyes et al., 2016). Esta situación resulta paradójica, pues mientras la minería es uno de los pilares de la economía peruana, también conlleva la generación de material particulado, y la contaminación de fuentes de aguas continentales (Villena, 2018).

La ingesta diaria de metales en el Perú es elevada y tiene como fuente al agua de consumo de los servicios públicos. Las protestas sociales ponen en evidencia la afectación de dosis elevadas de metales en sangre, sobre todo de las poblaciones contiguas a zonas mineras. En un estudio de 12 servicios de agua potable realizado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS en el 2004, se mostraron concentraciones altas de metales pesados, pero aún por debajo de lo establecido por la

Organización Mundial de la Salud para agua potable. Sin embargo, esta ingesta es diaria, además de ser solo una de las fuentes de absorción de estos metales (Villena, 2018).

De acuerdo a un informe realizado por órganos estatales y la sociedad civil, en los distritos de Espinar y Pallpata, región Cusco de influencia minera, existe contaminación de agua por los metales selenio, hierro, nitratos, arsénico manganeso y cobre. Esta originó la prohibición de la ingesta de agua tanto para personas como animales (Cooperación, 2016). Otro estudio indica que, en la Cuenca del Río Tumbes, las aguas superficiales presentan niveles de plomo por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECAs) en un 26.74%. Estos tienen su origen en la minería informal de la cuenca alta. Además, se conoce que el 100% de la población muestreada presenta plomo en sangre, por lo que se asume que han iniciado un proceso de bioacumulación (Gavilánez, 2016).

Esta contaminación se ha evidenciado en el caso específico de la cuenca del Río Moche, la cual se encuentra ubicada en la Costa Norte del Perú, perteneciente a la vertiente del pacífico y localizada políticamente en el departamento de La Libertad, atravesando las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán (Huaranga et al., 2012). Acorde a la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA: "Clasificación de los cuerpos de aguas continentales superficiales", el río Moche se encuentra clasificado en la Categoría 3: "Agua para riego de vegetales y bebida de animales". El uso actual de las aguas de esta cuenca está orientada al abastecimiento de gran parte de su población abarcando las zonas de Otuzco, Julcán, Simbal, Agallpamapa, Quiruvilca, Motil y otros, quienes la consumen sin previo tratamiento, además de emplearse para el riego de cultivos y en la actividad ganadera, a mediana escala (Neyra y Llenque, 2011).

Las causas de la contaminación del río Moche por metales pesados radican en el vertimiento de relaves mineros provenientes de la actividad minera formal e informal dada

en la cuenca alta, lo que ha llevado al río Moche a presentar niveles alarmantes de estos compuestos (Ministerio de Agricultura, 2010, en González, 2012). Asimismo, en un estudio de caracterización de las aguas de río Moche, se determinó que las concentraciones de plomo, cadmio y hierro superan los límites máximos permisibles (Neyra y Llenque, 2011). Los mayores niveles de contaminación en la cuenca alta durante el año de 1980, siendo los metales más representativos el hierro, plomo, cadmio, cobre, zinc y arsénico; además de encontrarse acumulación de éstos en tubérculos regados con estas aguas (Huaranga et al., 2012).

Hacia el 2017, Beltrán y Gonza corroboran la existencia de un alto grado de contaminación química de las aguas del río Moche. Así también, un estudio realizado por la EPS SEDALIB (2018), resalta el grado de contaminación en el punto de monitoreo de la Quebrada Agua Dulce, ubicado aguas abajo del distrito de Salpo y del caserío Milluachaqui, donde parámetros como pH, sulfatos, cadmio, hierro, plomo y zinc, superan abruptamente los Estándares de Calidad Ambiental - ECA agua categoría 3. Ante ello, se presenta la necesidad de someter las aguas de los cuerpos naturales a procesos de potabilización de modo que puedan ser admitidas para consumo humano, sin alterar su salud.

Existen antecedentes de tratamiento de aguas residuales industriales y/o potabilización del agua, mediante extractos de plantas empleadas como coagulantes naturales, que promueven la desestabilización de la contaminación coloidal (sólidos suspendidos) y de sólidos disueltos en términos de DQO. Mediante estos mecanismos, se logró eficiencia en la adsorción de metales pesados como plomo, cromo, cadmio y zinc (Sotheeswaran et al., 2011; Banchón et al., 2016).

La coagulación es una etapa del proceso de potabilización del agua, en la cual se adicionan sustancias químicas para la aglutinación o agregación de partículas suspendidas no sedimentables, lo que permite la formación de flóculos sedimentables (Olivero et al., 2013). Los coagulantes de tipo primario son en general sales ácidas reductoras de pH en el agua, lo cual hace necesario añadir un álcali. Están basados en compuestos inorgánicos convencionales de hierro o aluminio (Cogollo, 2011). El más usado en clarificación de aguas es el sulfato de aluminio o alumbre, que posee la capacidad de remover entre 90 y 95% de microorganismos en condiciones óptimas. Sin embargo, este coagulante químico es de fácil asimilación en el organismo humano, lo que está asociado a efectos negativos como diversas formas de cáncer, Alzheimer y enfermedades óseas (Gurdián y Coto, 2011).

En este sentido, se buscan alternativas limpias, con efecto nocivo mínimo, y de bajo costo que sirvan de sustitutos a los coagulantes primarios. Es así que, se han obtenido resultados eficientes con biomateriales como las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*), morango (*Moringa oleifera*), nirmali (*Strychnos potarum*), planta de guar (*Cyamopsis psoraloides*), planta de sorela roja (*Hibiscus sabdariffa*), el polímero extraído de las pencas de la tuna (*Opuntia cochinellífera*), lentejas (*Lens esculenta*) y quitosano, polímero natural. La mayoría de éstos se utiliza en la India y Asia para potabilizar aguas de consumo humano, y son llamados coagulantes naturales (Gurdián y Coto, 2011).

Existen diversas ventajas en el uso de coagulantes naturales, entre ellas se tiene que, por ser materiales de composición orgánica, son consumibles y por tanto no representan un riesgo de toxicidad para el organismo humano. Por otro lado, los lodos que generan en el proceso de coagulación son biodegradables, lo que además representa una enmienda sobre los suelos (Yin, 2010). Así, las cactáceas han sido motivo de investigación en los últimos años para su aplicación como coagulantes naturales. Son tallos modificados que

reemplazan la función fotosintética de las hojas. La parte interna está formada por la clorénquima, donde se realiza la fotosíntesis y en el parénquima medular blanco cuya función principal es el almacenamiento de agua. Hay células mucilaginosas en ambos, que almacenan el mucílago el cual se distribuye en los cladodios y frutos (piel y pulpa) de las cactáceas (Ondarza, 2016).

Dentro de esta familia, las especies *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” y *Echinopsis pachanoi* “san pedro” son de peculiar interés como coagulantes vegetales, pues poseen un gran contenido de mucílago compuesto principalmente por varios tipos de hidrocoloides (polisacáridos y proteínas), los cuales tienen propiedades coagulantes. Además, son especies muy abundantes en el Perú, presentes en todos los pisos altitudinales, que podrían ser aprovechadas como insumos, e incluso ya han sido usados en diversas zonas desde tiempo atrás de manera empírica, procurando reducir la turbidez del agua y obteniendo resultados favorables (Contreras et al., 2015; Choque et al., 2017). De manera complementaria, este rendimiento está basado en procesos de desestabilización electrocinética, removiendo un máximo de 99% de turbidez en efluentes de industrias químicas como textileras y de curtiembres, y en potabilización de aguas (Banchón et al., 2016).

Por todo lo mencionado anteriormente, el presente trabajo de investigación busca responder a la interrogante ¿Cuál es la eficiencia de tres concentraciones de los coagulantes *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller y *Echinopsis pachanoi* en la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del Río Moche, 2019-2020? De este se derivan las siguientes cuestiones ¿Cuál es el efecto del tiempo de toma de muestra en el proceso de coagulación para la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche?; ¿Cuáles son las dosis óptimas del mucílago de nopal y san pedro en el proceso de coagulación midiendo los porcentajes de remoción

de plomo (II) de las aguas de la cuenca alta del río Moche?, y ¿Cuáles son los valores de conductividad, pH y oxígeno disuelto de las aguas de la cuenca alta del río Moche?

En este sentido, se propone como primer objetivo específico evaluar el efecto del tiempo de toma de muestra en el proceso de coagulación para la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche, seguido de definir las dosis óptimas del mucílago de nopal y san pedro en el proceso de coagulación midiendo los porcentajes de remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche, determinar la conductividad, pH y oxígeno disuelto de las aguas de la cuenca alta del río Moche. Todo ello, para lograr el objetivo general del estudio, el cual consiste en determinar la eficiencia de las concentraciones de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller y *Echinopsis pachanoi* en la remoción de plomo (II) en la cuenca alta del Río Moche), alternativa de solución ante el problema que significa la pérdida de la calidad de los cuerpos naturales de agua.

A manera de resolver las cuestiones planteadas en el párrafo anterior, se propone una hipótesis nula (H_0) que indica que los coagulantes naturales nopal y san pedro actúan de manera similar en la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche y como hipótesis alternativa (H_1) alegando que los coagulantes naturales nopal y san pedro actúan de manera muy variable en la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche. Además, se consideró que el tiempo de toma de muestra no influye en el proceso de coagulación para la remoción de plomo (II), seguidamente, las dosis óptimas del mucílago de nopal y san pedro en el proceso de coagulación midiendo los porcentajes de remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche es de 20ppm. Los valores de conductividad, pH y oxígeno disuelto de las aguas de la cuenca alta del río Moche se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para agua.

Los antecedentes de investigación se mencionan en adelante, iniciando por los internacionales.

Vázquez (1994), en su investigación "Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales" donde aplicó coagulante natural en muestras de agua sintéticas con metales pesados y color, utilizando tres tipos de opuntia (*O. Imbrucata*, *O. Lindheimeri* y *O. Microdasys*), y aplicando una adaptación del método de Dujardin para la extracción del coagulante natural y prueba de jarras para la determinación de dosis óptima, es así que concluyó que el tratamiento de coagulación - floculación es determinante para la eficiencia de la cactácea, ya que cuando las cargas se neutralizan parcialmente, se forman microflóculos de mínimo peso molecular y con baja velocidad de sedimentación.

Gaete et al. (2007), en su publicación titulada “Metales pesados y toxicidad de aguas del río Aconcagua en Chile”, determinaron la toxicidad del río Aconcagua en una zona con actividad minera, utilizando la microalga de agua dulce de tipo unicelular (*Pseudokirchneriella subcapitata*) mediante métodos biológicos, en el que concluyeron que, los metales pesados analizados arrojaron valores que están muy por encima de la norma chilena de calidad de agua, mencionan también que en concentraciones de plomo, el cuerpo de agua no presenta una tendencia temporal con relación al aumento del caudal.

Nieto y Orellana (2011), en su investigación “Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante” donde estudió la eficiencia del quitosano que se encuentra en la cáscara de camarón para eliminar la carga contaminante de cromo hexavalente en una muestra de agua contaminada, mediante el método de prueba de jarras, donde concluyeron que a tiempos cortos de floculación (5 a 15 minutos), se obtiene una remoción de hasta el 90% de cromo hexavalente, ya que al

incrementarse el tiempo de floculación, los flóculos formados tienden a disociarse hasta llegar a romperse por la interacción que tienen con las paletas del floculador.

Subramanium et al. (2011), en su artículo de revisión “*Moringa oleífera* y otras semillas locales en la purificación de agua en países en desarrollo”, determinaron los usos de las semillas de moringa (*Moringa oleífera*), maní (*Arachis hypogaea*), frijol castilla (*Vigna unguiculata*), frejol negro (*Vigna mungo*) y maíz (*Zea mays*) enfocados en su eficacia como coagulantes naturales en el tratamiento del agua en el Pacífico Sur. Para ello realizaron experimentos con dosis de semillas de moringa, determinando pH, turbidez, dureza como calcio y magnesio, metales pesados y nutrientes. Los ensayos se ejecutaron antes y después del tratamiento con moringa y otras semillas. Así, determinaron que las semillas de moringa tienen mayor eficiencia para la remoción de turbidez, por ende, tienen el mayor potencial para tratar el agua.

Vijayaraghavan et al. (2011), en su artículo de revisión titulado “Aplicación de coagulantes vegetales para el tratamiento de aguas residuales”, presentan un estudio de las fuentes de coagulantes de origen vegetal, los procesos, la efectividad y los mecanismos de coagulación relevantes para el tratamiento de aguas residuales. Así determinaron que los coagulantes naturales, cuando se utilizan para el tratamiento de aguas, con un rango de turbidez de bajo a medio (50 a 500 NTU), generan una eficiencia comparable a la de sus homólogos químicos. El mecanismo de coagulación se da por adsorción, seguido de neutralización de carga o efecto de puente polimérico. Además, determina que los coagulantes de origen vegetal que se estudian con frecuencia, incluyen semillas de nirmali (*Strychnos potatorum*), moringa (*Moringa oleífera*), tannin y cactus.

Ovando (2012), en su tesis de maestría titulado “Modificación de biopolímero extraído de nopal (*Opuntia ficus indica*) y su aplicación para la remoción de metales

pesados en agua” donde extrajo el mucílago de la especie modificando los ácidos carboxílicos y nanopartículas de plata para que sea insoluble en medio acuoso. Empleó la espectroscopia de infrarrojo para examinar el mucílago normal y el modificado, microscopía de barrido para ver la textura y la distribución de nanopartículas, calorimetría diferencial de barrido, pruebas de sorción, desorción e isothermas de adsorción, desorción de cadmio. Ovando concluyó que la capacidad máxima de adsorción del cadmio es de 13.14 mg/g a una temperatura de 25°C y un pH de 6.

Villabona et al. (2013), en su investigación “Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural”, precisaron componentes ligados a la capacidad coagulante de la cactácea *Opuntia ficus indica*, en la disminución en el color y la turbidez del agua. Para ello, realizaron prueba de jarras y absorción atómica para analizar Ca y He, concluyendo así que la especie tiene un pH ácido (4.42), humedad alta (90.23%), baja cantidad de saponinas (0.70 mg/g), flavonoides (10.16 mg/g) y sales minerales de Ca (0.27%) y He (32.55m). También aluden que dicha especie tiene una alta actividad como coagulante natural, ya que remueve el 50% de color y 70% de turbidez de aguas crudas con alta turbidez inicial, pues por cada 65 g de coagulante/kg de penca de tuna, lograron tratar 650 litros de agua cruda.

De Souza et al. (2014), en su artículo "El uso de un coagulante natural (*Opuntia ficus-indica*) en la eliminación de materias orgánicas de efluentes textiles" investigaron la actividad del coagulante extraído del cactus *Opuntia ficus - indica* en el proceso de coagulación / floculación de efluentes textiles. Emplearon la metodología de superficie de respuesta (RSM) basada en el diseño experimental de Box-Behnken (modelo matemático), con las variables dosis de FeCl₃, dosis de cactus y pH en la remoción de DQO y turbidez de ambos efluentes. Concluyeron que las condiciones óptimas para el

efluente de lavado fueron las siguientes: FeCl_3 160 mg L⁻¹, dosis de cactus 2.60 mg L⁻¹ y pH 5.0. Para el efluente de teñido de telas, corresponden a: FeCl_3 640 mg L⁻¹, dosis de cactus 160 mg L⁻¹ y pH 6.0.

Jadhav y Mahajan (2014), en su artículo de investigación “Evaluación de la viabilidad de coagulantes naturales en la remoción de turbidez y modelado del proceso de coagulación” determinaron el comportamiento de coagulación-floculación de coagulantes naturales, como quitosano, moringa (*Moringa oleífera*) y mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*), para el tratamiento de agua turbia sintética de turbidez de 314.4 NTU. Estos realizaron una serie de ensayos alternando la dosis de los coagulantes y concluyendo que las dosis óptimas fueron 1.5, 80 y 40 mg / l para quitosano, moringa y cactus, respectivamente. Además, realizaron un estudio espectral de IR demostrando que los grupos funcionales ácido carboxílico y alcoholes fueron los responsables de la actividad de coagulación.

Contreras et al. (2015) en su estudio denominado “El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua” indagaron el rendimiento de dicha cactácea complementando la acción del sulfato de aluminio, para clarificar el agua del Río Magdalena. Emplearon la metodología de prueba de jarras, consideraron las variables: proporción y concentración de las especies coagulantes, velocidad de agitación y pH. Los resultados muestran remoción del 50% de turbiedad del agua (menos de 2 NTU), empleando 20% de mucílago, velocidad de agitación de 200 rpm. Estableciendo así al nopal como un coagulante complementario eficiente para el sulfato de aluminio, disminuyendo el color en el agua.

Nharingo et al. (2015), realizaron una investigación titulada “Explorando el uso de cactus *Opuntia ficus-indica* en la biocoagulación - floculación de iones Pb (II) de aguas

residuales” donde se indagó el potencial de la cactácea para eliminar iones de Pb(II) en aguas residuales, los grupos funcionales que intervienen en el proceso, así como la dosis óptima y el porcentaje de remoción, mediante la pulverización del coagulante natural, llegando a la conclusión que los ácidos carboxílicos, aminoácidos y polisacáridos son los que intervienen en el proceso de remoción de Pb (II), determinaron que la dosis óptima de mucílago fue de 20ppm obteniendo un 100% de eliminación de iones de Pb(II) siendo la *Opuntia ficus indica* un coagulante altamente eficaz en el en el tratamiento de aguas residuales.

Banchón et al. (2016), en su investigación “Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales”, donde destacan el uso de coagulantes naturales para la descontaminación de aguas, ya que estos no generan gran cambio en el pH, debido a que no consumen alcalinidad como los compuestos basados en hierro o aluminio, mencionan que la turbidez se puede llegar a remover hasta en un 99% en aguas residuales industriales y que la coagulación que se realiza de manera natural está ligada con las propiedades electrocinéticas y no se remueve en su totalidad ya que está trazada para desestabilizar los sólidos suspendidos y disueltos.

Bravo (2017) en su estudio de grado licenciatura “Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales”, identificó las condiciones óptimas de coagulación y floculación de especies vegetales y animales, además de determinar su mecanismo químico de acción. Recopiló información sobre la capacidad de coagulación y floculación de extractos derivados de quince especies de plantas y dos de animales, sobre metales pesados, sólidos en suspensión, turbidez, colorantes y DQO, sobre aguas residuales. Concluyó que estos biopolímeros remueven altos valores de contaminantes. Además, identificó que los

agentes coagulantes activos de dichas especies corresponden principalmente a proteínas, taninos y carbohidratos.

Aguirre et al. (2018), en su estudio “Sustancias naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en Palermo, Colombia”, donde determinaron la capacidad de remoción de la Moringa oleífera, *Opuntia ficus-índica*, *Azadirachta índica* y *Zea mays*, mediante métodos analíticos y prueba de jarras, concluyendo así que las sustancias naturales no alteran de forma significativa el pH y que el mayor porcentaje de remoción para la turbidez fue de 65.8, en una dosis de 100 mg/L, con tiempo de floculación de 20 minutos a 45 revoluciones por minuto (rpm).

Bouaouine (2018), desarrolló un estudio para obtener el grado de doctor, titulado “Caracterización y valorización de biorecursos vegetales para el pretratamiento de efluentes por coagulación y floculación”, identificó parámetros óptimos para la aplicación de *Opuntia ficus-indica* en coagulación-floculación. Propone una metodología mediante la prueba de jarras junto con zetametrina y microscopía. Obtuvo condiciones óptimas a pH 11 y una dosis de extracto de 62,5 mg/L; el color del agua vegetal requirió el uso de 50 mg/L de sulfato de aluminio. Los análisis validaron la viabilidad del tratamiento de aguas residuales con extractos de *Opuntia ficus-indica*.

Adicionalmente, las líneas siguientes comprenden los antecedentes nacionales relacionados al tema de investigación.

Apaza (2012) en su informe estadístico “Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa” tuvo como objetivo analizar fisicoquímico de las aguas del río Chili y evaluar la capacidad coagulante-floculante del extracto de nopal. El sistema ejecutado, que abarcó en primera instancia, un procedimiento con mucílago de nopal a 80% de concentración, y

un posterior filtrado, logró aminorar particularmente la turbidez y coliformes totales, obteniéndose un valor de 2,000 NMP/ 100 ml y 4.1 UNT respectivamente, además de un pH de 7.11.

Caparachin y Salas (2017), en su tesis “Remoción de Hierro de las Aguas Ácidas de la Mina Carhuacayán Mediante el Coagulante del Cactáceo *Opuntia Floccosa* a nivel de Laboratorio”, hallaron la concentración adecuada de coagulante mediante la prueba de jarras por lo que realizaron 14 experimentos con su repetición, donde se dio los procesos de coagulación a 100 rpm, floculación a 50 rpm por 15 min y sedimentación por 60 min. Concluyeron que el hierro se removió en un porcentaje significativo de 91,729%. De los datos obtenidos, se comprobó que el mayor porcentaje de remoción tiene la concentración de 20 ppm de coagulante en un tiempo de coagulación de 5 min.

Chávez y Cholán (2018), en su tesis “Evaluación del mucílago *Opuntia ficus-índica* en la reducción de metales en drenaje ácido de mina de la quebrada Honda – Colquirrumi S.A.”, evaluaron la influencia del mucílago de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” en la reducción de Cu, Fe, Zn, Pb y Cd. Realizaron pruebas de laboratorio a 40%, 60% y 80% de mucílago con un diseño de investigación descriptivo transversal. Concluyeron que a 80% de mucílago, las concentraciones finales de Cu y Zn están dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y que los metales Cd, Fe y Pb se aproximan a los ECA. Siendo aquella la dosis óptima, obtuvieron porcentajes de remoción de 28% para Cd, 38.44% para Cu, 80.49% para Fe, 25.37% para Pb y 23.06% para Zn, consideran al nopal como una buena alternativa natural de remoción en el drenaje ácido de mina.

Alva (2018) en su tesis de grado de licenciatura titulado “Uso del *Echinopsis pachanoi* como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano” evaluó la eficiencia de remoción de turbidez de la cactácea San Pedro (*Echinopsis*

pachanoi) como ayudante de coagulación, en muestras de agua del Río Chillón. Realizó pruebas de jarras en dos sistemas, el primero solo sulfato de aluminio, luego el sulfato de aluminio más el San Pedro, como ayudante de coagulación. La obtención del polímero natural se dio mediante la limpieza, corte, secado, triturado y pesado del cardo. El trabajo resuelve que el San Pedro, como ayudante de coagulación, influye en la disminución de la dosis de alúmina, en un rango del 14% al 23%, con mayor reducción en muestras de 30 UNT y en menor medida en la prueba de 303 NTU.

Gabino (2018), en su tesis denominada “*Opuntia Ficus-Indica* como Coagulante para la Remoción de Sólidos Suspendidos totales del efluente de Beneficio en Avícola La Chacra”, desarrolló diversos estudios con especies del género *Opuntia ficus-indica* para clarificar las aguas, como alternativa de coagulante. La investigación demostró la efectividad que tiene la *Opuntia ficus-indica* en forma gel (cruda o fresca), registrando remociones de SST de 65%, DBO₅ en 28% y turbidez sobre un 91%. Gabino determinó que la *Opuntia ficus-indica* es influyente en la remoción de sólidos suspendidos totales y representa una alternativa para su aplicación a gran escala.

Villanueva (2019), en su tesis “Efecto de tres concentraciones de mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) y de san pedro (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificación de agua”, determinó el efecto del mucílago deshidratado de las especies de estudio para clarificar agua turbia, empleando tres concentraciones: 0.75 g/L, 1 g/L y 1.25 g/L, por medio de la metodología de pruebas de jarras. Los valores porcentuales de remoción de turbiedad están en un rango de 62 % a 90 % para la tuna y de 60 % a 78 % para el san pedro. Se concluyó que la concentración óptima es 1.25 g/L para cada especie y que la tuna es la especie de cactus más efectiva para la aplicación en el tratamiento de aguas turbias.

La base teórica que aportó al entendimiento de los principales aspectos del fenómeno de estudio es la siguiente:

Remoción. Se logra a través de una combinación adecuada de procesos de: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Consiste en eliminar o minimizar contaminantes que están en el ambiente y pongan en riesgo a los seres vivos (Renu, Agarwal, Madhu y Singh, 2017).

Metales pesados. Son altamente tóxicos de elevado peso atómico. Se encuentran generalmente en los ecosistemas por largos periodos de tiempo y son emitidos por diferentes fuentes provenientes de su presencia en los suelos donde se han acumulado durante la formación de las capas terrestres; asimismo, son empleados en varios procesos industriales (Rodríguez, 2017).

Coagulación. Forma parte del proceso de potabilización de agua, consiste en la desestabilización de partículas coloidales causadas por la adición de un compuesto químico (coagulantes), neutralizando cargas y formando una masa gelatinosa que une partículas, aumentando así su tamaño y velocidad para que puedan sedimentar con facilidad (Rivas, Menés, et al., 2017). Los coagulantes más empleados en la desestabilización de partículas y producción de flóculos son: sulfato ferroso y férrico, sulfato de aluminio, cloruro férrico y de aluminio.

Influencia del pH en la coagulación. Es un factor importante en el proceso de coagulación ya que para cada tipo de agua existe un rango de pH óptimo. Si el pH se encuentra fuera del rango significa que será necesario regular la alcalinidad del agua, por el cual se debe aumentar la dosis del coagulante dependiendo de la naturaleza del mismo y del agua a tratar; para ellos se emplean hidróxido de calcio, carbonato de sodio o bicarbonato sódico (Idrovo, 2010).

Influencia de la dosis de coagulante en la coagulación. La influencia de la cantidad de coagulante es de suma importancia, ya que si se agrega baja dosis del mismo, no neutralizaría la carga de la partícula por completo, en otros términos, generaría escasez de creación de microfloculos, por ende, se elevaría la turbidez residual. Por otro lado, una elevada dosis de coagulante conlleva a que la carga de la partícula se invierta, conduciendo a la formación de microfloculos en alta cantidad y de dimensiones muy pequeñas, dificultando el proceso de sedimentación, acelerándolo o retardándolo. En este sentido, la dosis de coagulante influye directamente sobre la eficiencia de la coagulación (Gabino, 2018).

Influencia de la mezcla en la coagulación. En el proceso de coagulación y floculación, la mezcla de productos químicos abarca dos fases. La primera, denominada también mezcla rápida, es de corta duración (60 segundos, máximo) y enérgica. Esta mezcla distribuye el coagulante en su totalidad en la muestra de agua a tratar. En la segunda fase, la mezcla es pausada y desarrolla los microfloculos y hace que se unan, haciéndolos cada vez más grandes para así facilitar su sedimentación (Gabino, 2018).

Coagulante natural. También conocidos como biocoagulantes, bajo condiciones adecuadas de uso son libres de toxicidad. Sus compuestos bioactivos son proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides. Los coagulantes naturales permiten la desestabilización de la contaminación coloidal (sólidos suspendidos), remoción de sólidos disueltos en términos de DQO y en comparación con los coagulantes químicos producen menor cantidad de lodos residuales; es muy eficiente en la adsorción de metales pesados tales como plomo, cromo, cadmio y zinc mediante extractos de plantas. Los coagulantes naturales no consumen alcalinidad en comparación con los compuestos basados en aluminio o hierro; por tanto, no generan cambios bruscos de pH (Banchón et al., 2016).

Mucílago. El mucílago o goma es una sustancia originaria en las plantas, polisacárido fibroso altamente ramificado, es una sustancia pegajosa que se disuelven en agua para dar soluciones mucilaginosas o geles que son ampliamente usadas como adhesivos o agentes aglomerantes (Quispe, 2012).

Opuntia ficus indica (L.) Miller. Planta arbustiva perteneciente a la familia cactaceae, siendo las cactáceas especies endémicas del continente americano, se caracterizan por adaptarse perfectamente en zonas áridas y secas, suelos con baja cantidad de nutrientes y propensos a la erosión, lluvias ácidas y temperaturas altas. Dicha cactácea es investigada en gran medida por su óptimo rendimiento en la coagulación y como fuente de energía para la producción de gas metano, producción de biomasa (Ramírez y Jaramillo, 2015).

Composición química general de la especie Opuntia ficus-indica (L.) Miller “nopal”. La especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” contiene alrededor de un 15% de azúcares. Las pencas son ricas en agua y contienen además sales minerales (calcio, fosforo, hierro) y vitaminas sobre todo la vitamina C. Tiene propiedades antioxidantes, atribuibles a los derivados fenólicos.

El fruto de *O. ficus-indica* contiene los alcaloides del indol, betanina y los isómeros iso y neobetanina y otros alcaloides, además de indicaxantina y opuntiaxantina. En hojas y tallos se han identificado los alcaloides mezcalina, tiramina y su ácido. Las flores contienen el flavonoide isoramnetin y el esteroide beta-sitosterol; y en el peciolo se encuentran los flavonoides camferol, luteolin, penduletin, quercetin y rutin. Los segmentos frescos de este cactus contienen alrededor de un 90% de agua. Los frutos, contienen un 83.8 – 91.0 % humedad, un 12% de azúcar y 6,75% de materias nitrogenadas, además de ácidos orgánicos (alrededor del 0,10%) composición química de la tuna en (g/100 g pulpa), con un

característico colorante entre rojo y anaranjado, lo que provoca que, al consumirlo, la orina se tina de ese color (Sáenz, 2010, en Paucara, 2017).

El ácido galacturónico también es considerado como el responsable de la formación de puentes químicos en la floculación. (García, 2015).

Composición del mucílago de la especie Opuntia ficus-indica (L.) Miller “nopal”. El mucílago de la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” contiene proteínas y diversos polisacáridos de variada composición. Las extracciones de los componentes activos coagulantes de la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” se obtienen a partir de los cladodios previamente secados y molidos hasta a un polvo fino (Jadhav & Mahajan, 2014).

Echinopsis pachanoi “san pedro”

Se caracteriza por tener un crecimiento muy rápido (Hasta 30 cm en 1 año) y por sus pequeñas espinas y flores grandes de color blanco que florecen de noche. Es para elaborar la bebida denominada “achuma” la cual ocasiona alucinaciones visuales y auditivas producto de la ingesta del alcaloide mescalina, el cual se encuentra en sus tejidos parenquimáticos clorofiliano (Ministerio del Ambiente, 2013).

Composición química general de la especie Echinopsis pachanoi “san pedro”. El cactus *Echinopsis pachanoi* “san pedro” contiene como principal alcaloide la mescalina, hordenina, lophophina, DMPEA (3,4-Dimethoxyphenethylamine) y lobivina. La parte verde externa (clorénquima) y su pulpa están concentrada principalmente por mescalina y la concentración de este alcaloide puede variar mucho dependiendo de la especie y el ejemplar. En estudios realizados encontraron que las concentraciones que van des del 0,053% hasta el 4,7% del peso total del cactus. Por ello la cantidad necesaria de *Echinopsis*

pachanoi “san pedro” para inducir efectos psicoactivos puede variar mucho (PhychePlants, 2018).

Composición del mucílago de la especie *Echinopsis pachanoi* “san pedro”. La mayor concentración de sustancias activas se encuentra en la capa de tejido fotosintético verde, justo debajo de la piel de la *Echinopsis pachanoi* “san pedro”. En su composición química encontramos que tiene un número de alcaloides, incluyendo la mescalina química bien estudiado, y también 3,4-dimetoxifenetilamina, 4- hidroxí-3-metoxifenetilamina, 3-hidroxí-4 ,5-dimetoxifenetilamina, 4- hidroxí-3, 5-dimetoxifenetilamina, anhalonidine, anhalinine, hordenina, tiramina, y 3-metoxitiramina” (Carboneti, 2015).

Prueba de jarras. Es la que mejor simula la coagulación química y la dosificación apropiada de reactivos a escala de la clarificación y la operación llevada a cabo. Su uso radica en la determinación de la dosis óptima de coagulante requerida para la formación de flóculos con mejores características. Hace uso de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares (Restrepo, 2009).

Floculación. Es una mezcla lenta, profunda, y de baja fuerza de cizalla. El proceso continuo a la coagulación, consiste en la agitación de la masa coagulada que tiene como finalidad unir los flóculos pequeños y permitir el crecimiento en tamaño, peso y aglomeración de los mismos, para que posteriormente sean capaces de sedimentar (Russell, 2012, p. 252).

Sedimentación. Es el mecanismo mediante el cual las partículas sólidas se separan del fluido, debido a que, por su mayor densidad, tienden a sedimentar por fuerza de gravedad llegando al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable; el fluido puede ser un líquido o un gas (Torres 2012).

Sedimentación de partículas discretas. Es cuando las partículas que sedimentan no cambian de forma, densidad o tamaño durante el descenso en el fluido (Fernández, 2016).

Sedimentación de partículas floculentas. Durante la sedimentación se aglutinan entre sí, causando una aglomeración de partículas, cambiando así su forma, tamaño y aumentando su peso específico adquiriendo una dimensión casi definitiva al momento de la floculación. (Fernández, 2016).

Sedimentación por caída libre e interferida. Se denomina fenómeno de caída libre, cuando las partículas se depositan sin interferir, debido a que se encuentran en una baja concentración en el agua. En cambio, si existen altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal. (Fernández, 2016).

Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua). Son los niveles de concentración máxima de parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en los recursos hídricos superficiales que no representan algún riesgo para la salud humana ni contaminan el medio ambiente (ANA, 2016).

Determinación del porcentaje de remoción de plomo. La variación en la concentración de plomo debido a las dosis de mucílago, se verificó mediante el análisis de los porcentajes de remoción, que fueron hallados a través de la siguiente fórmula (Palta y Morales, 2013):

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de remoción

Donde:

Remoción (%): Porcentaje de remoción de plomo

C_i: Medida inicial de la concentración de plomo en la muestra (sin tratar)

C_f: Medida final de la concentración de plomo en la muestra tratada con los coagulantes

Con relación a la pertinencia académica del presente trabajo, esta responde a una de las líneas de investigación correspondientes a la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte, contribuyendo así a abarcar las perspectivas de análisis de esta institución y de la comunidad académica. Cabe resaltar que el manejo de los conceptos claves estudiados es pertinente tanto para el estudiante como para el profesional de dicha carrera. Adicionalmente, este estudio posee una relevancia científico – tecnológica, puesto que muestra los avances del uso de tecnologías limpias en el tratamiento de aguas, como son coagulantes naturales de cactáceas; e incentiva a la evaluación de su posible aplicación en el Perú donde no se ha desarrollado. Así, este trabajo de investigación busca determinar la eficiencia de las especies *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller (tuna) y *Echinopsis pachanoi* (San Pedro) en la remoción de plomo de la cuenca del río Moche.

CAPÍTULO II. MÉTODO

El enfoque del estudio desarrollado es cuantitativo, puesto que busca determinar un valor cuantificable de una variable en cuestión. Esta investigación es de tipo experimental, pues se basa en la manipulación de las variables, como el tiempo de toma de muestra y la concentración del mucílago de dos especies de cactáceas: *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” y *Echinopsis pachanoi* “san pedro”, que corresponden a las variables independientes. Asimismo, esta busca conocer la eficiencia de dichas especies en la remoción de plomo, que es la variable dependiente.

Se empleó un diseño de investigación de tipo experimental factorial con arreglo de 3x3x2x1, donde 3 indica los niveles de tiempo (noviembre, diciembre, enero); 3 representa los niveles de concentración de coagulante (20 ppm, 30ppm, 40ppm); 2 indica niveles de tipo de especie (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal”, *Echinopsis pachanoi* “san pedro”); y 1 refiere a parámetro de medición (Pb II). Además, se realizaron 3 repeticiones por cada concentración, con un total de tratamientos de 18 y 54 unidades experimentales.

En adelante se muestran los factores de estudio:

Factor 1: Tiempo

T1 = Noviembre

T2 = Diciembre

T3 = Enero

Factor 2: Concentraciones de mucílago

C1 = 20 mg/L

C2 = 30 mg/L

C3 = 40 mg/L

Factor 3: Especies de cactus

E1 = *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal”

E2 = *Echinopsis pachanoi* “san pedro”

Tabla 1. *Diseño experimental*

N° tratamiento	Factores			Tratamiento	Repetición
	Tiempo	Concentración	Especie		
1	T ₁	C ₁	E ₁	T ₁ C ₁ E ₁	3
2	T ₁	C ₂	E ₁	T ₁ C ₂ E ₁	3
3	T ₁	C ₃	E ₁	T ₁ C ₃ E ₁	3
4	T ₁	C ₁	E ₂	T ₁ C ₁ E ₂	3
5	T ₁	C ₂	E ₂	T ₁ C ₂ E ₂	3
6	T ₁	C ₃	E ₂	T ₁ C ₃ E ₂	3
7	T ₂	C ₁	E ₁	T ₂ C ₁ E ₁	3
8	T ₂	C ₂	E ₁	T ₂ C ₂ E ₁	3
9	T ₂	C ₃	E ₁	T ₂ C ₃ E ₁	3
10	T ₂	C ₁	E ₂	T ₂ C ₁ E ₂	3
11	T ₂	C ₂	E ₂	T ₂ C ₂ E ₂	3
12	T ₂	C ₃	E ₂	T ₂ C ₃ E ₂	3
13	T ₃	C ₁	E ₁	T ₃ C ₁ E ₁	3
14	T ₃	C ₂	E ₁	T ₃ C ₂ E ₁	3
15	T ₃	C ₃	E ₁	T ₃ C ₃ E ₁	3
16	T ₃	C ₁	E ₂	T ₃ C ₁ E ₂	3
17	T ₃	C ₂	E ₂	T ₃ C ₂ E ₂	3
18	T ₃	C ₃	E ₂	T ₃ C ₃ E ₂	3

Nota: En esta tabla se representa diferentes tiempos (T1-T3), concentraciones (C1-C3), especies vegetales (E1, E2) y repeticiones.

La población considerada en el estudio fue el flujo del agua de la cuenca alta del río Moche, ubicada a la altura de la carretera a Quiruvilca, en la Costa Norte del Perú, perteneciente a la vertiente del pacífico y localizada políticamente en el departamento de La Libertad, atravesando las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán. Geográficamente, se encuentra comprendida en la zona 17 del hemisferio sur, iniciando a

una altura de 3955 m.s.n.m. aproximadamente entre los 801490.8 N y 705613 E y los 859475 E y 912416.6 N coordenadas UTM (Huaranga et al., 2012).

Se tomaron 03 muestras del flujo de agua del río Moche, Shorey, Quiruvilca – La Libertad, obteniendo un volumen de 45 litros, las cuales fueron recolectadas de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). Dichas muestras fueron colectadas en tres tiempos: noviembre y diciembre del año 2019 y enero del año 2020 y corresponden a muestras puntuales o simples, pues su análisis se dio de manera individual. Los 03 puntos estuvieron ubicados en las coordenadas UTM – WGS 84: T1 (17S, 795921 E, 9113592 N); T2 (17S, 795930.1 E, 9113590.8 N) y T3 (17S, 795926.4 E, 9113591.5 N), a 3752, 3753, 3753 m.s.n.m., respectivamente.

Los materiales y equipos empleados para el desarrollo de la investigación fueron los siguientes:

Material de gabinete

- Laptop
- Microsoft Excel, Word, Power Point
- Programa ArcGIS
- Programa Google Earth
- Programa Minitab
- Libreta de campo
- Memoria USB
- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Lapiceros

- Impresora

Material de toma de muestra

- Guardapolvo
- Guantes
- Mascarilla
- Zapatos de seguridad
- Casco
- Frascos esterilizados ámbar y transparentes
- Cooler
- Cadena custodia
- Etiqueta de muestras
- GPS

Material de laboratorio

- EPPS (Guardapolvo, guantes, mascarilla, zapatos de seguridad)
- Fiola de 1000 mL
- Probeta de 50 mL
- Pipetas de 5 mL y 10 mL
- Micropipeta de 20 μ L a 200 μ L
- Vasos de precipitado de 20, 100 y 1000ml
- Placas Petri
- Tamiz
- Varilla de agitación
- Cutter
- Matraz Erlenmeyer

- Espátula de laboratorio
- Agua destilada
- Pissetas
- Papel tisú
- Papel filtro.

Equipos de laboratorio

- Balanza electrónica OHAOS Scout
- Balanza analítica OHAOS PA224C
- Cocina eléctrica FINEZZA
- Equipo de filtración al vacío GAST
- Equipo de Absorción atómica AGILENT 240FS
- Equipo multiparámetro HACH HQ40D
- Equipo de prueba de jarras VELP SCIENTIFICA JLT6

Reactivos químicos

- Ácido nítrico 98% (mL)

Se emplearon como técnicas a los experimentos físico-químicos para la manipulación de las variables en cuestión. Como instrumentos de recolección de datos, se aplicó la cadena de custodia, así como el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA).

Para la caracterización de los parámetros pH, conductividad y oxígeno disuelto (método electrométrico), se tomó una pequeña muestra de agua 80 mL y se vertió en un vaso de precipitado de 100 mL. Se llevó a cabo la medición del pH, conductividad y oxígeno disuelto mediante las sondas correspondientes del equipo multiparámetro. Se realizó esta operación tres veces y se anotó los resultados.

La preparación de muestras para la determinación de plomo mediante el equipo espectrofotómetro de absorción atómica, se llevó a cabo filtrando repetidas veces una fracción de 80 mL de muestra hasta que no se observó sólidos suspendidos. Se digirió adicionando 50 mL de muestra en un vaso de precipitado, más 2.5 mL de HNO₃. Se tomó una alícuota de 10 mL de muestra para su lectura en el equipo de absorción atómica.

Es menester que previo a la toma de lectura del elemento de interés, en esta oportunidad, plomo, se realice el método de la curva de calibración, para lo cual se deben tomar 5 fioles aforadas de 100 ml y numerarlas. Se pipeteó y depositó exactamente en ellas: 1,0; 2,0; 4,0; 7,0 y 10,0 mL de solución de plomo de 10 ppm. Se aforó a la marca con agua destilada. Se realizó la medición respectiva.

Una vez puesto operativo el equipo de absorción atómica, se midió la absorbancia de las soluciones de los patrones diluidos y la muestra examen, teniendo como referencia al agua destilada. Se trabajó con la longitud de onda de máxima absorción. Se graficó los puntos (concentración vs absorbancia) que correspondieron a los estándares diluidos y estos fueron ajustados según la Ley de Beer. (Arenas y López 2004). Con el valor de absorbancia de la muestra examen preparada, se llevó a la curva de calibración. Se calculó la concentración de la muestra preparada.

Se recolectaron las muestras de las especies *Opuntia ficus – indica* (L.) Miller “nopal” y *Echinopsis pachanoi* “san pedro”, de un área de 1.5 m², en el centro poblado Santo Domingo, en el distrito de Laredo, ubicado a 89 m. s. n. m., perteneciente a la provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. Las tomas de muestras se realizaron de manera aleatoria en horas de la mañana. Las muestras tuvieron entre 2 a 3 años de edad y presentaron una altura de 80 cm para el nopal y de 100 cm para el san pedro. Se extrajeron

3 cladodios de la especie *Opuntia Ficus – Índica* (L.) Miller “nopal” y 30 cm del tronco de la especie *Echinopsis pachanoi* “san pedro”.

Para la preparación del coagulante, se considera lo formulado por Gabino (2018), donde al nopal se le retiraron las espinas de la especie con una espátula. Se lavaron las muestras de *nopal*. Se realizó el pesado de los 3 cladodios en la balanza analítica calibrada OHAOS PA224C. Se peló la cutícula externa de los cladodios. Se realizó el raspado de la misma para extraer un jugo de contextura espesa (mucílago). Se filtró mediante un tamiz para retirar los sólidos presentes. Se envasó y etiquetó el gel resultante para su posterior uso.

Respecto al san pedro, se retiraron las espinas de la especie con una espátula. Se lavó la muestra de san pedro. Se realizó el pesado de la muestra en la balanza analítica calibrada OHAOS PA224C. Se peló la cutícula externa del tronco de la especie. Se realizó el raspado de la misma para extraer un jugo de contextura espesa (mucílago). Se filtró mediante un tamiz para retirar los sólidos presentes. Se envasó y etiquetó el gel resultante para su posterior uso.

Para el análisis de pH, conductividad, oxígeno disuelto y plomo en soluciones. Se tomó una pequeña muestra de agua 80 mL y se vertió en un vaso de precipitado de 100 mL. Se llevó a cabo la medición del pH, conductividad y oxígeno disuelto mediante las sondas correspondientes del equipo multiparámetro. Se realizó esta operación tres veces y se anotó los resultados.

Para la remoción de Pb con coagulantes naturales, se utilizó el equipo de prueba de jarras, en el cual se realizaron 3 tratamientos (coagulación, floculación y precipitación). Se tomó 3 vasos de precipitación (jarras) de 1 litro de capacidad cada uno, en el cual se vertió un litro de muestra en cada jarra. Se colocaron los vasos de precipitación en el equipo de

prueba de jarras, cada uno con una paleta de agitación en el centro interno del contenido del vaso. Se trabajó a concentraciones de 20, 30 y 40 ppm de coagulante. Se estableció el tiempo y revoluciones por minuto (rpm) en la coagulación y floculación. Se retiraron las jarras del equipo para el proceso de sedimentación.

El equipo utilizado en el proceso de coagulación – floculación dispone de control de velocidad, lo que permitió realizar la agitación rápida, lenta en vasos de 1 L, además cuenta con una pantalla iluminada en la parte posterior para observar bien el aspecto de las muestras tratadas. Se estableció un tiempo de 5 minutos para la coagulación a 100 rpm en el equipo de jarras, cumplido el tiempo, se programó 20 min. y 50 rpm para la floculación.

Una vez concluidos los procesos de coagulación y floculación en el equipo de jarras, se trasvasa el líquido a otro recipiente para seguir el proceso de sedimentación. En este proceso se empleó un tiempo de 30 min, donde los sólidos suspendidos en el agua son separados de la mezcla por efecto de la gravedad.

Una vez sedimentada la muestra, se procedió a analizar la concentración y el pH final de la disolución. Se extrajo un volumen de 8 mL de la parte sobrenadante de cada jarra, a una profundidad de 5 cm de la superficie del líquido, para evaluar la concentración final. Para su análisis de pH, conductividad, oxígeno disuelto y plomo se siguió el procedimiento mencionado anteriormente. Finalmente teniendo la concentración final e inicial se determinó el porcentaje de remoción de plomo.

Los valores obtenidos fueron procesados estadísticamente mediante un Análisis de Varianza ANOVA, con un nivel de significancia de 0.05. Además, se realizó la prueba Post-ANOVA de comparaciones múltiples de Tukey. Todo ello, mediante el software Minitab 16.

Como aspectos éticos se consideró la realización de un íntegro registro y procesamiento de los datos recolectados en los experimentos realizados. Además, la información extraída de las diversas fuentes de estudio, que se menciona en el presente trabajo de investigación, fue citada y referenciada de acuerdo al formato APA sexta edición.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados de los porcentajes de remoción de Pb (II) en tablas y figuras, la tabla 1 presenta el análisis de varianza de los promedios de remoción de Pb (II) con relación al Tiempo, concentración coagulante y tipo de especie con sus valores de significancia. Las tablas 2, 3 y 4 muestran la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los promedios de remoción de Pb (II), con relación a los 3 niveles del factor concentración de coagulante; en relación a los 2 niveles del factor tipo de especie y las interacciones entre concentración de coagulante y tipo de especie, respectivamente. Además, para cada prueba de comparaciones múltiples se generaron las figuras respectivas.

Tabla 2. *Análisis de varianza de los promedios de remoción de Pb (II) con relación al tiempo, concentración de coagulante y tipo de especie*

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor de F	Valor P
F1: Tiempo	4,1	2	2,0	0,29	0,750
F2: Concentración Coag.	11137	1	11137	1588,52	0,000 *
F3: Tipo de Especie	3514,8	2	1757,4	250,67	0,000 *
F1 * F2	16,5	2	8,2	1,18	0,320
F1 * F3	1,2	4	0,3	0,04	0,996
F2 * F3	826,8	2	413,4	58,96	0,000 *
F1 * F2 * F3	22,1	4	5,5	0,79	0,541
Residuos	252,4	36	7,0		
Total	15774,8	53			

Nota: (*): La prueba resultó ser significativa ($p < 0.05$)

Fuente: Programa estadístico Minitab 16

Los valores de P del análisis de varianza, prueban la significancia estadística de cada uno de los factores y del efecto interactivo. Aquí podemos señalar que el factor Concentración de coagulante y el factor Tipo de especie tienen un efecto significativo sobre

el porcentaje de remoción de Pb (II) ($p < 0.05$) y así ocurre también con el efecto interactivo ($F_2 * F_3$). Como estos factores resultaron ser significativos, entonces, existe una diferencia entre el efecto de sus niveles. Por ello se procedió a determinar el mejor nivel, para lo cual se aplicó la prueba Post ANOVA denominada Comparaciones Múltiples de Tukey, en la cual se obtuvo los siguientes resultados

La tabla mostrada a continuación, muestra que sí existen diferencias significativas entre los niveles del factor “concentración de coagulante”. Además, esta indica que con la concentración de coagulante de 20 mg/L se ha originado la mayor remoción de Pb (II) con un promedio 55.72 %. Gráficamente se puede observar este comportamiento.

Tabla 3. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los promedios de remoción de Pb (II), con relación a los 3 niveles del factor Concentración de Coagulante

Concentración de Coagulante (mg/L)	N	Media	Significancia
20	18	55.72	****
30	18	49.14	****
40	18	36.30	****

Fuente: Programa estadístico Minitab 16

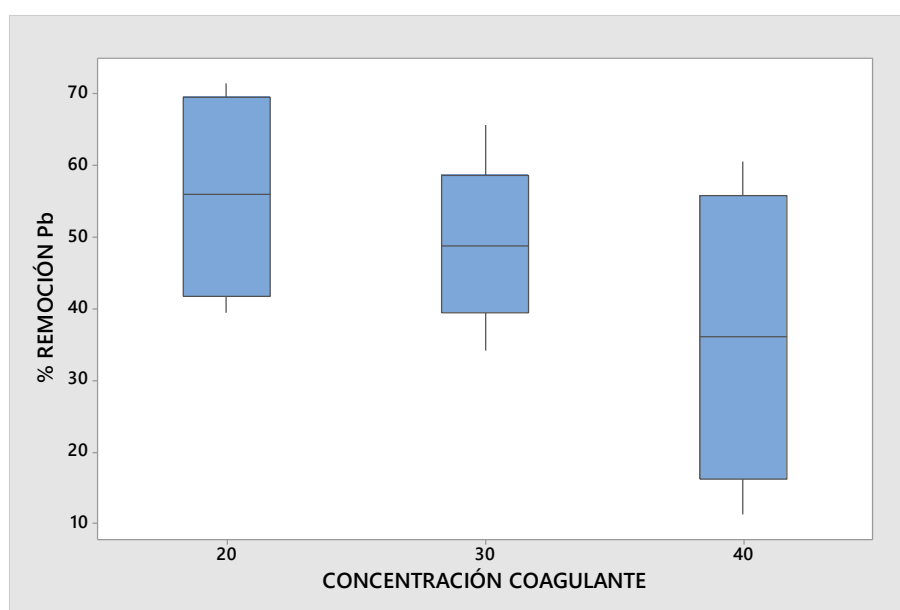


Figura 1. Gráfico de caja y bigote para la evaluación del porcentaje de remoción de Pb (II) con relación a los diferentes niveles de concentración de coagulante

La siguiente tabla muestra las comparaciones múltiples de Tukey para determinar los niveles que tienen diferencias significativas, respecto a otros. Como se puede apreciar, también se confirma la existencia de diferencia significativa entre los Tipo de especies con relación a los porcentajes de remoción de Pb (II) con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla 4. Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los promedios de remoción de Pb (II), con relación a los 2 niveles del factor Tipo de Especie

Tipo de especie	N	Media	Significancia
<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller “nopal”	27	61.42	****
<i>Echinopsis pachanoi</i> “san pedro”	27	32.70	****

Fuente: Programa estadístico Minitab 16

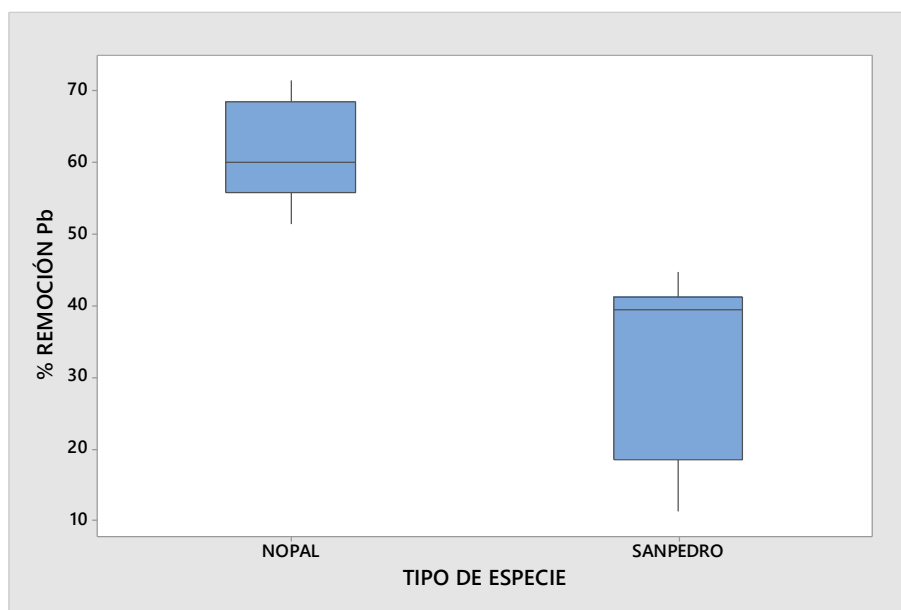


Figura 2. Gráfico de caja y bigote para la evaluación del porcentaje de remoción de Pb (II) con relación a los diferentes tipos de especies

La tabla a continuación indica que sí existen diferencias significativas entre la combinación de los diferentes niveles de los factores Concentración de coagulante y Tipo de especie. Es necesario señalar que el promedio más alto de remoción de Pb (69.28 %) se alcanzó con la concentración de coagulante de 20 mg/L y con el tipo de especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal”, mientras que el valor más bajo de 16.79 % se obtuvo a una concentración de 40 mg/L con el tipo de especie *Echinopsis pachanoi* “san pedro”. Además, se observa en la misma tabla que con la interacción 2 y 3; 4 y 5 los promedios de remoción Pb (II) fueron estadísticamente similares. Gráficamente podemos observar este comportamiento.

Tabla 5. Prueba de Comparaciones Múltiples de Tukey de los promedios de remoción de Pb (II), con las interacciones entre Concentración de coagulante y Tipo de especie

Orden de Variación	Concentración de Coagulante (mg/L)	Tipo de Especie	Media	Significancia
1	20	nopal	69.28	****
2	30	nopal	59.17	****
3	40	nopal	55.80	****
4	20	san pedro	42.17	****
5	30	san pedro	39.12	****
6	40	san pedro	16.79	****

Fuente: Programa estadístico Minitab 16

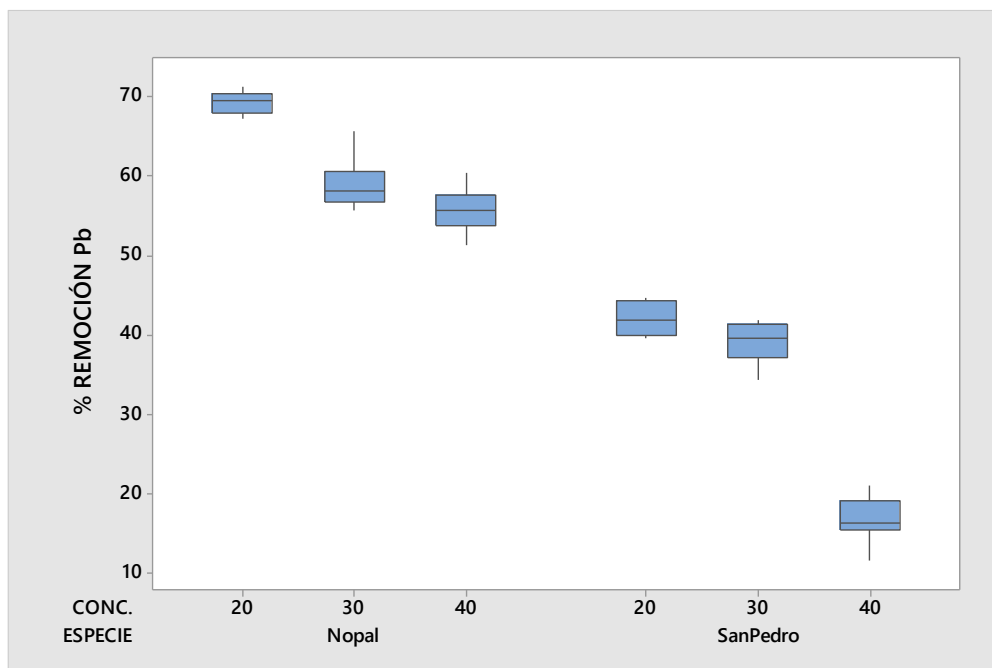


Figura 3. Gráfico de caja y bigote para la evaluación del porcentaje de remoción de Pb (II) con relación a las interacciones entre la concentración de coagulante y tipo de especie

Tabla 6. *Valores iniciales promedio de pH, conductividad y oxígeno disuelto de las aguas de la cuenca alta del río Moche, 2019-2020*

Mes de muestreo	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Oxígeno Disuelto ($\text{mg O}_2/\text{L}$)
Noviembre	3.13	1163	8.41
Diciembre	3.10	1160	8.42
Enero	2.90	1140	8.30

La tabla 6 indica valores de pH ácido para las muestras de agua colectadas del río Moche, cuenca alta. De acuerdo a la categoría 3 – Riego de vegetales y bebida de animales, a la que corresponde este cuerpo de agua, los valores de pH se encuentran muy por debajo de los estándares de calidad ambiental para agua (ECA agua). Para el caso de la conductividad, los valores se encuentran por debajo del ECA, lo que indica que no representa un peligro en el uso que le corresponde. El oxígeno disuelto corresponde a valores superiores de los mínimos establecidos en el ECA, lo cual asegura una buena disponibilidad de oxígeno para los microorganismos que habitan el cuerpo de agua.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente capítulo se discuten los resultados obtenidos y procesados teniendo en cuenta estudios previos con temática similar, además de los estándares de calidad ambiental para agua (ECA agua D.S. 004-2017-MINAM) aplicado al uso C dirigido al riego de vegetales y bebida de animales, pues el Río Moche se encuentra categorizado como tal. En primera instancia, la tabla 2 presenta los valores de P del análisis de varianza realizado para determinar la significancia del tiempo de muestreo, concentración de coagulante, tipo de especie y de su interacción, en relación a los promedios de remoción de Pb (II) ($p < 0.05$). Aquí se obtuvo un efecto significativo de los factores concentración de coagulante, del tipo de especie y de la interacción de estos.

Tanto la concentración y tipo de coagulante son variables que afectan la remoción del plomo en un proceso de coagulación. Por un lado, la concentración de coagulante tiene efecto directo sobre la eficiencia de coagulación de los coloides, pues a una cantidad pequeña de coagulante, no ocurre una neutralización total de las partículas y por ende la formación de los microflóculos es mínima, dejando una alta turbiedad residual que incluye a los metales. Así también, Vázquez (1994) indica que una concentración elevada de coagulante, llevará a la formación de microflóculos pequeños de bajo peso molecular y baja velocidad de sedimentación, lo que igualmente conduce a una elevada turbiedad residual.

Por otro lado, Villabona et al., (2013) y Bouaouine (2018), mencionan que los tipos de coagulantes influyen en gran medida en el proceso de coagulación, de los cuales los más conocidos y comerciales son los inorgánicos como sulfato de aluminio, sulfato ferroso, entre otros. También son empleados los coagulantes orgánicos de origen natural, como los polisacáridos naturales y almidones. Nieto y Orellana (2011) alegan que ambos actúan de

manera similar, favoreciendo la aglomeración de partículas dispersas en el agua, pero la eficiencia de los primeros es más conocida debido a su uso extensivo y con mayor trayectoria, sin subestimar a los coagulantes naturales cuyas diversas ventajas se vienen percibiendo.

Es necesario resaltar la nula significancia del factor tiempo de muestreo en la remoción de plomo. Considerando que la concentración de los coloides o turbiedad es un factor que afecta el proceso de coagulación, por tanto, Romero (2002) alude que el tiempo no es una variable influyente en el proceso de remoción del mismo. Esto debido a que, de acuerdo con Gaete et al., (2007), las concentraciones de plomo en el cuerpo de agua no presentan una tendencia temporal definida en relación al incremento de caudal. Además, si bien el caudal del río Moche varía de 0.02 m³/s a 5.36 m³/s en promedio, entre los meses de noviembre a enero (EPS SEDALIB, 2018), el tratamiento de coagulación se realizó ex-situ, es decir, evitando elementos adicionales que pudieran ser arrastrados por dicho caudal (Instituto nacional de ecología y cambio climático, 2007), que pudieran influir en el proceso de coagulación.

Con la existencia de diferencia estadísticamente significativa de los factores concentración de coagulante, tipo de especie y su interacción, sobre el porcentaje de remoción de plomo (II), la prueba Post ANOVA de comparaciones múltiples de Tukey, permitió determinar el mejor nivel para dichos factores. La tabla 3 muestra las medias de remoción de plomo con relación a los 3 niveles del factor concentración. Así, la prueba de Tukey indica que la concentración de coagulante de 20 mg/L originó el mayor porcentaje de remoción de Pb (II) con un promedio de 55.72%. Por tanto, esta correspondería a la dosis óptima para ambas especies coagulantes.

Este valor de dosis óptima de coagulante responde al fundamento del proceso de coagulación. Las partículas coloidales, las sustancias húmicas y algunos microorganismos presentan una carga negativa en el agua, la cual impide la aproximación de las mismas. En el tratamiento del agua es necesario alterar esta fuerza iónica mediante la adición de sales de aluminio o de hierro, polímeros sintéticos u otros, que provoquen el fenómeno de la coagulación. Banchon et al. (2016) indican que la efectividad de este proceso se sustenta en mecanismos de desestabilización electrocinética. Es así que, Vázquez (1994) indica que, a elevadas concentraciones de coagulante, se neutralizan parcialmente las cargas de las partículas, por ende, se formarán microflóculos de bajo peso molecular y con una baja velocidad de sedimentación, lo que implica que el plomo seguirá formando parte de la turbidez residual.

Es preciso señalar el concepto de turbidez como parámetro de referencia, pues según Espigares y Fernández (1999) está ligado a la concentración de coloides como el plomo, así, adelante se harán las comparaciones necesarias de los resultados con estudios de remoción de turbidez, como de plomo, en específico. La turbidez es un parámetro de gran importancia sanitaria del agua, pues revela aproximadamente la cantidad de material orgánico, mineral y coloidal.

Seguidamente, la prueba de Tukey aplicada para los promedios de remoción de plomo (II), con relación a los 2 niveles del factor tipo de especie (Figura 2), muestra que el mejor nivel dentro de dicho factor es la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” (61.42 %), mientras que con la especie *Echinopsis pachanoi* “san pedro” se alcanzó la menor remoción de plomo (32.70%). El resultado está en línea con los hallazgos de Villanueva (2019), quien indica que el *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” tiene mayor

efectividad en la remoción (separación) de elementos sólidos que la especie *Echinopsis pachanoi* “san pedro”

Así, la eficiencia en la remoción de plomo (II) mediante el mucílago de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” se respalda en un estudio realizado por Nharingo et al. (2015), donde se identificaron los grupos funcionales que estuvieron activos durante la eliminación de iones plomo de una solución acuosa mediante *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal”, los cuales corresponden a los ácidos carboxílicos, aminoácidos y polisacáridos. Para Awwad y Salem (2014), esto además indica un proceso de unión entre el coagulante *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” y los iones Pb (II). Nharingo et al., (2015) afirma, que los coagulantes naturales presentan un mecanismo de coagulación de adsorción, seguida de la neutralización de la carga o el efecto puente polimérico, en otras palabras, debido a la atracción electrostática entre los iones metálicos (carga positiva) se adhieren al sitio de carga de los coagulantes.

De manera más específica, De Souza et al. (2014) estableció la composición química de *Opuntia ficus-indica*: $3.52 \pm 0.21\%$ crudo proteína, $0.28 \pm 0.015\%$ de lípidos entre carbohidratos, L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico. Según, Jadhav y Mahajan (2014), este último existente en su forma polimerizada como ácido poligalacturónico, es el polisacárido que actúa como ingrediente activo en el proceso de coagulación para las especies *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” y *Echinopsis pachanoi* “san pedro”. Además de este componente, Subramaniam, et al. (2011) alude también esta capacidad de eliminación de plomo, a las proteínas y taninos presentes en esta especie.

Además, en la prueba de Tukey para la interacción de los factores concentración de coagulante y tipo de especie (tabla 5), el promedio más alto de remoción de plomo (69.28

%) se logró con la concentración de coagulante de 20 mg/L y con el tipo de especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal”, mientras que con el tipo de especie *Echinopsis pachanoi* “san pedro” la remoción máxima promedio fue de 42.17%, a una concentración de coagulante de 20 mg/L. Además, se observa en la misma tabla que para las interacciones con concentraciones de mucílago de 30 y 40 ppm, los promedios de remoción Pb (II) fueron estadísticamente similares.

El porcentaje promedio de remoción de plomo a una dosis óptima de mucílago de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” (20 ppm), se aproxima al porcentaje de remoción determinado por Nharingo et al. (2015). Este reportó valores de eliminación de plomo del 100% de muestras del río Mukuvisi, Harare, cuando usó en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” en forma pulverizada. Por tanto, es sugerente que su metodología de obtención del mucílago sin empleo de solventes químicos, así como las variables adicionales que manipuló, como el tamaño de partícula, tiempo de coagulación y pH fueron determinantes en la remoción de plomo. Por lo cual, Nharingo et al. (2015), afirma que la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” pulverizado es un floculante eficiente y ecológico que puede remediar eficazmente los iones Pb (II) de las aguas residuales.

Apaza (2012) obtuvo un porcentaje de remoción de 96% de ión plomo a una concentración óptima de mucílago del 80% a un pH de 7. La remoción también difiere en mediana medida de la obtenida en la presente investigación, por lo cual es importante señalar que el pH al que se llevó el presente trabajo varió alrededor de 3, que indica ser muy ácido. Vijayaraghavan, et al. (2011) indican que la coagulación se verá favorecida a medida que se incremente el pH, pues los iones de metales pesados serán los cationes predominantes en la solución. Así, en el presente estudio la remoción del ión plomo no se vio beneficiada en gran medida por el carácter ácido de la matriz.

Por otro lado, Chávez y Cholán (2018) indican una reducción de 25.37% de plomo en aguas con una dosis de 80% de coagulante de la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal”. Esta cifra de remoción se aleja del valor obtenido en el presente estudio, lo que lleva a considerar otras condiciones dadas como la matriz de la muestra, pues trabajó con un efluente de aguas ácidas de mina donde existe una variedad de iones metálicos, como el Al, Fe, y Mn disueltos, que producen iones de hidronio (H⁺), el cual disminuye el pH. Acorde con Nharingo et al. (2015), una alta concentración inicial de metales en la matriz, altera la actividad coagulante. La matriz empleada en esta investigación (agua de río) presentó una concentración menor de iones metálicos que en la mencionada anteriormente, así, la mayoría de estos cationes no interactúan con los sitios activos (negativos) del coagulante, por ende, se da un mayor porcentaje de remoción del ión plomo.

Caparachín y Salas (2017) manifiestan una remoción del 91,73% de hierro a una concentración de coagulante de 20 ppm y tiempo de coagulación de 5 minutos de su muestra de agua. Para la obtención del mucílago se secaron y pulverizaron los cladodios, para luego emplear etanol como disolvente. De acuerdo con Bravo (2017), la coagulación de contaminantes de aguas residuales está en función en gran medida del método de extracción del coagulante de la especie empleada. Así, en diferentes investigaciones donde se extrajo el mucílago del cactus mediante secado y molienda de los cladodios, llevando a cabo la coagulación a una dosis de 40 mg/L y pH 5, se reportaron valores de remoción de hasta 91%. Además, como enuncian Nharingo y Ngwenya (2013), el porcentaje de remoción por coagulación se debe a las propiedades físicas y químicas del metal.

Aguirre et al. (2018) obtuvieron un porcentaje de remoción de 65.8 de turbidez, a partir de una dosis de 100 mg/L, tiempo de floculación de 20 minutos a 45 rpm. Esta última, resulta muy similar al valor hallado en la presente investigación, pero abarca la remoción

de un conglomerado mayor de partículas incluidas en la turbidez y una dosis superior de coagulante. Por lo que afirma que los coagulantes naturales son una alternativa accesible y sostenible de potabilización del agua.

Para el caso del cactus *Echinopsis pachanoi* “san pedro”, se obtuvieron valores de remoción de plomo menores al 50%. Este resultado se asemeja al indicado por Choque et al. (2017), quienes logran porcentajes de remoción de 48.58 % y 99.33 % al 1% y 3% de dosis de coagulante, respectivamente, cuando es extraído con el solvente etanol. Este indica una relación directa de dosis de coagulante y remoción. Además, Villanueva (2019) obtuvo una remoción del 78 % con su dosis más efectiva de (1.25 g/L), en cuyo procedimiento no empleó solventes, pero sí se sometió el mucílago a desecación. Torres (2012), en estudio extraídos con etanol del cactus *Echinopsis pachanoi* presentan porcentaje de remoción mayores al 99%, que supone la relación con los solventes empleados en la extracción del mucílago de *Echinopsis pachanoi* “san pedro”.

Alva (2018) al emplear la especie *Echinopsis pachanoi* “san pedro” como ayudante de coagulación con sulfato de aluminio, determinó que el polímero natural potencia la tasa de decantación en aguas poco turbias del 14 al 29%, lo que indica que habrá un depósito mayor de partículas flocculentas, como proceso intermedio entre la coagulación y floculación. Además, determinó que el costo del tratamiento por metro cúbico (m³) usando el coagulante natural no resulta rentable frente al costo de operar solo con sulfato de aluminio, pues este último tiene un costo menor en el mercado. Cabe mencionar que el extracto de mucílago lo obtuvo a través de la limpieza, corte, secado y triturado del cardo. Estos bajos rendimientos y los obtenidos en el presente estudio, conllevan a considerar la importancia del método de extracción del mucílago como variable a considerar para la ejecución del tratamiento.

Los valores de concentración de plomo posterior al tratamiento de coagulación tanto con *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” y *Echinopsis pachanoi* “san pedro”, se encuentran por encima del establecido por los ECA-agua Categoría 3: Riego y bebida de animales de 0.05 mg/L, que corresponde al uso categorizado para el río Moche por el ANA. Además, la concentración de plomo en el río Moche resulta elevada para cualquiera de los usos categorizados por norma que se le quiera dar. En cuanto a la viabilidad de su uso para potabilización en la cuenca alta es discutible, pues presenta caudales promedios mensuales entre 0 y 0.21 m³/s de junio a diciembre y los picos más altos de hasta 19.01 m³/s, entre los meses de enero a abril, debido a las precipitaciones (ANA, 2018).

En relación a los valores de los parámetros medidos en las muestras de agua colectadas del río Moche-cuenca alta, se obtuvo valores de pH ácido. De acuerdo a la categoría 3 – Riego de vegetales y bebida de animales, los valores de pH se encuentran muy por debajo de los estándares de calidad ambiental para agua (ECA agua). Además, los valores de pH posteriores al tratamiento aplicado, variaron en mínima medida, es decir que continúan fuera del rango de los ECA-agua, por lo cual no podrá ser usado para tal fin, u otros sin previo ajuste de pH. Este mínimo viraje también es obtenido en diversos estudios como el de Aguirre et al. (2018), quien considera que un gran aporte de las especies *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” y *Echinopsis pachanoi* “san pedro” es que no alteran de forma significativa el pH del agua, de modo que son una alternativa económica y ambientalmente aplicable.

Estudios, indican, que el pH no ejerce efectos directos en los consumidores, es un parámetro, que indica la calidad del agua. Para que, la desinfección con cloro, sea eficaz, es necesario que el pH, sea inferior a 8. Por otro lado, para Villanueva (2019), el pH más adecuado para llevar a cabo el proceso de coagulación está entre el rango 6-7, con puntos

isoeléctricos entre 4 y 6, debido que a pH superiores las proteínas tienen naturaleza aniónica.

Para el caso de la conductividad, los valores se encuentran por debajo del ECA, lo que indica que no representa un peligro en el uso que le corresponde. La conductividad eléctrica del agua se incrementa con el uso de las concentraciones de mucílago de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal”, el incremento es mayor con la especie *Echinopsis pachanoi* “san pedro”, esta variación se debe a que los cactus en su estructura contienen polímeros y alcaloides que aportan las cargas positivas. Villanueva (2019) indica que el empleo de coagulante natural en el tratamiento de aguas, eleva de manera significativa los valores de conductividad, ya que los coagulantes naturales contienen polímeros que incrementan ligeramente la carga iónica del agua.

En este caso de estudio, las especies *Opuntia ficus – indica* (L.) Miller “nopal” y *Echinopsis pachanoi* “san pedro” de la familia de las cactáceas, resultan de interés peculiar para su aplicación como coagulantes naturales, pues poseen un gran contenido de mucílago, que es una estructura de almacenamiento de agua, con propiedades coagulantes. Acorde con Contreras et al. (2015) y Choque et al. (2017), estas son especies muy abundantes en el Perú, presentes en todos los pisos altitudinales, que podrían ser aprovechadas como materias primas, e incluso ya han sido usados en muchos lugares desde años anteriores de forma empírica para aclarar el agua turbia con resultados satisfactorios, como los mencionados en apartados anteriores.

Para la elaboración del estudio existieron limitantes, como el acceso restringido a reactivos para la digestión de muestras, el riesgo durante la toma de muestras por el lugar poco accesible., poca disponibilidad del laboratorio para el desarrollo de la parte

experimental. Cabe mencionar el estado de emergencia por la COVID-19 que interfirió con el cronograma planteado.

Respecto a la trascendencia del presente estudio, se abarcan temas de relevancia actual en el uso de las cactáceas como coagulantes naturales en la remoción de metales pesados. Estas poseen gran importancia, ya que tienen un impacto menor a diferencia de los coagulantes químicos, como un efecto nocivo mínimo, de bajo costo, además de ser materiales de composición orgánica, así los lodos que generan en el proceso de coagulación son biodegradables, lo que además representa una enmienda sobre los suelos. Asimismo, el uso de coagulantes naturales ha presentado buenos resultados en los últimos años, llegando a obtener altas remociones de metales pesados con bajas dosis, lo que se puede proyectar en el tratamiento de las aguas del río Moche, que es una de las fuentes de agua más afectadas.

Para países como Perú, esta resulta una alternativa de relevancia, pues al poseer una economía basada en la minería y agricultura, y con poca responsabilidad social ambiental por parte de las empresas, existirá una producción constante de efluentes que tendrán un manejo inadecuado.

En este sentido, se concluye que,

De las dos especies consideradas en el presente estudio, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” es la cactácea más eficiente con una concentración de mucílago de 20 mg/L.

La mayor eficiencia de remoción de plomo (II) se obtuvo con la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller “nopal” con un 69.28%.

Se evaluó el efecto del tiempo en el proceso de coagulación, de donde se obtuvo que no tiene efecto significativo sobre la remoción de plomo (II).

La dosis óptima para ambas especies de coagulantes es la que se encuentra a 20 mg/L de concentración y originó el mayor porcentaje de remoción de Pb (II) con un promedio de 55.72%.

Se determinaron los parámetros físicos químicos (conductividad, pH y oxígeno disuelto) de las aguas de la cuenca alta del río Moche.

REFERENCIAS

- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2011). El Medio ambiente en Europa: segunda evaluación. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/es/publications/92-828-3351-8/6es.pdf>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2011). *Perfil toxicológico del plomo*. Recuperado de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.pdf
- Aguirre, S., Piraneque, N., & Cruz, R. (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. En *Información tecnológica*, 29(3), 59-70. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>
- Alva, L. (2018). *Uso del Echinopsis pachanoi como ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Apaza, H. (2012). *Tratamiento ecológico, una alternativa sustentable para la purificación de aguas contaminadas destinadas al riego de cultivos en Arequipa*. Recuperado de <https://www.cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/tratamiento-ecologico.pdf>
- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: MCGRAU-HILL/ INTERAMERICANA DE COLOMBIA. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=KtkAPwAACAAJ&dq=teoria+y+practica+de+la+purificacion+del+agua&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjMlfiK2KnqAhUhDrkGHXVdCBkQ6AEwAHoECAEQAQ>

- Arenas, I & López, J (2004). Espectrofotometría de Absorción. Recuperado de http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/met/espectrometria_de_absorcion.pdf
- Armijo, R., Basegio, N., Cofrade, B. & Ramos, T. (2019). Contaminantes Químicos del Agua: Contaminación Antropogénica. En *Revista MoleQla*, 35, 39-47. Recuperado de <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero35/Numero-35.pdf>
- Awwad, A, & Salem, N. (2014). Kinetics and thermodynamics of Cd (II) biosorption onto loquat (*Eriobotrya japonica*) leaves. En *Journal of Saudi Chemical Society*, 18(5), 486–493. Recuperado de <https://www.mendeley.com/catalogue/kinetics-thermodynamics-cdii-biosorption-onto-loquat-eriobotrya-japonica-leaves/>
- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D. & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. En *Enfoque UTE*, 7(4), pp. 111 - 126. Recuperado de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v7n4/1390-6542-enfoqueute-7-04-00111.pdf>
- Barakat, M. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. En *Arabian Journal of Chemistry*, 4 (4), 361-377. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535210001334>
- Beltrán, R. & Gonza, K. (2017). Citotoxicidad y genotoxicidad de las aguas de los ríos Jequetepeque y Moche mediante el bioindicador ambiental *Vicia faba* L. En *Scientia Agropecuaria*, 8(3), pp. 203-212. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v8n3/a03v8n3.pdf>

- Bisht, Renu, Agarwal, Madhu & Singh (2017). Methodologies for removal of heavy metal ions from wastewater: an overview. En *Interdisciplinary Environmental Review*, 18, 124-142. 10.1504/IER.2017.10008828
- Bouaouine, O. (2018). *Characterization and valorisation of plant bioresources for pretreatment of effluents by coagulation flocculation*. (Tesis de doctorado). Escuela de Doctorado de Química, Ecología, Geociencias y Agrocencias. Universidad de Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco.
- Bravo (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias y Educación. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá.
- Bundschuh, J., Litter, M., Parvez, F., Román, R., Nicolli, H., Jiin-Shuh, J. ... Regla, T. (2012). One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries. En *Science of The Total Environment*, 429, 2-35. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711006486>
- Buttice, A. (2012). *Aggregation of Sediment and Bacteria with Mucilage from the Opuntia ficus-indica Cactus*. (Tesis de doctorado). Universidad del Sur de Florida, Estados Unidos.
- Caparachin, K. & Salas, I. (2017). *Remoción de Hierro de las Aguas Ácidas de la Mina Carhuacayán Mediante el Coagulante del Cactáceo Opuntia Floccosa a nivel de Laboratorio*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Carboneti, A. (2015). *Echinopsis pachanoi* - san pedro. Recuperado de:

<https://cactusysuculentascuatrohermanos.wordpress.com/2015/02/07/echinopsis-pachanoi-san-pedro/>

Chávez, J. & Cholán, J. (2018). *Evaluación del mucilago de “opuntia ficus-indica” en la reducción de metales en drenaje ácido de mina de la Quebrada Honda - Colquirrumi S.A.* (Tesis de Licenciatura). Escuela de Ingeniería de Minas. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

Choque, D., Choque, Y., Solano, A. & Ramos, B. (2017). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. En *Tecnología Química*, 38 (2), pp.

298-309.

Recuperado

de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852018000200008&lng=e&nrm=iso

Cogollo, J. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. En *Dyna*, 78 (165), pp. 18-27. Recuperado de

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622372002>

Contreras, K., Mendoza, Y., Salcedo, G., Olivero, R. & Mendoza, G. (2015). El nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación

de agua. En *Producción Más Limpia*, 10 (1), pp. 40-50. Recuperado de

<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=d014c34c-4a14-478c-b47e-ebcfbfcad545%40sdc-v-sessmgr01>

Cooperación (2016). *Metales pesados tóxicos y salud pública: El caso de Espinar.*

Recuperado

de

[http://cooperacion.org.pe/wp-](http://cooperacion.org.pe/wp-content/uploads/2017/11/ESPINAR-Informe-sobre-salud-4-1.pdf)

[content/uploads/2017/11/ESPINAR-Informe-sobre-salud-4-1.pdf](http://cooperacion.org.pe/wp-content/uploads/2017/11/ESPINAR-Informe-sobre-salud-4-1.pdf)

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias* (junio 07, 2017).

Pág. 10. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/59020>

De Souza, M., Ambrosio, E., De Almeida, C., Souza, T., Santos, L., De Cinque, A. & Garcia, J. (2014). The use of a natural coagulant (*Opuntia ficus-indica*) in the removal for organic materials of textile effluents. En *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 5261–5271. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-014-3775-9>

Environmental Health Criteria (1998). *Inorganic lead*. Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc165.htm>

EPS SEDALIB. (2018). Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Moche como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A. Recuperado de <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5683862528.pdf>

Espigares, M. & Fernández, M. (1999). Calidad del agua para consumo público: caracteres físico-químicos. Granada: Editorial Universidad de Granada. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=k8bIixwJzYUC&lpg=PA242&dq=Calidad%20del%20agua%20para%20consumo%20p%C3%ABablico%3A%20caracteres%20fisicoqu%C3%ADmicos.&hl=es&pg=PA242#v=onepage&q=Calidad%20del%20agua%20para%20consumo%20p%C3%ABablico:%20caracteres%20fisicoqu%C3%ADmicos.&f=false>

Fernández, R. (2016). *Sedimentación/Aguas*. Recuperado de https://static.eoi.es/savia/documents/sedimentacion_migma_2016_rfd_rev0.pdf

- Freitas, T., Oliveira, V., De Souza, M., Geraldino, H., Almeida, V., Fávaro, S., & García, J. (2015). Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. En *Industrial Crops and Products*, 15, pp. 538-544. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669015301904>
- Fregoso, B., Mancilla, O., Hueso, E., Guevara, R., Palomera, C., Olgún, J. ... Flores, H. (2017). Concentración iónica y metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila- Tuxcacuesco - Armería. En *IDESIA*, 35(3), 115-123. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v35n3/0718-3429-idesia-00303.pdf>
- Fu, J., Zhao, C., Luo; Y., Liu, C., Kyzas, C., Luo, L., Dongye, Z., Shuqing, A. & Hailiang, Z. (2014). Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: their relations to environmental factors. En *J Hazard Mater*, 270, 102–109. doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.01.044
- Gabino, R. (2018). *Opuntia ficus - indica como coagulante para remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de beneficio en avícola La Chacra*. (Tesis de licenciatura). Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- Gaete, H., Aránguiz, F., Cienfuegos, G., & Tejos, M. (2007). Metales pesados y toxicidad de aguas del Río Aconcagua en Chile. En *Química Nova*, 30(4), 885-891. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000400023>
- Gavilanez, L. (2016). *Estudio de la concentración del plomo en el agua del río Tumbes período 2012 – 2015 como causa de la minería aurífera y su relación con la salud de los pobladores del caserío de Rica playa – Tumbes - 2016*. (Tesis doctoral). Escuela de Postgrado. Universidad Nacional de Tumbes, Perú.

González, R. (2012). Los derechos humanos y el riesgo que causa el agua contaminada del río Moche en Trujillo, Perú. En *Revista Ciencia y Tecnología*, 2, pp. 181-197.

Recuperado de <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/download/200/206>

Gurdián, L. & Coto, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación y floculación de aguas residuales. En *Tecnología en marcha*, 24 (2), pp. 18-26. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835564>

Huaranga, F., Méndez, E., Quicat, V. & Arévalo, F. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú. En *Scientia Agropecuaria*, 3 (3), pp. 235-247. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3576/357633703005.pdf>

Idrovo, C. (2010). *Optimización de la planta de tratamiento de UCHUPUCUN*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Cuenca, Ecuador.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). Estudio Nacional del Agua. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2007). *Tecnologías de remediación*. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/tecnolog.html>

Jadhav, M. & Mahajan, Y. (2014). Assessment of feasibility of natural coagulants in turbidity removal and modeling of coagulation process. En *Desalin Water Treat*, 52 pp. 5812– 5821. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/266622236_Assessment_of_feasibility_of_natural_coagulants_in_turbidity_removal_and_modeling_of_coagulation_process

Li, Z., Ma, Z. Van der Kuijp, J., Yuan, Z. & Huang, L. (2014). A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. En *Science of the Total Environment*, 468, 843-853. Recuperado de <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero35/Numero-35.pdf>

Londoño, L., Londoño, P. & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. En *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2) pp. 145-153. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

Macías, C.; García, M. & Chaparro, P. (2017). Determinación electroquímica de plomo y cadmio en aguas superficiales. En *Revista Luna Azul*, 1(44) pp. 27-38. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321750362003.pdf>

Mancilla, O., Ortega, H., Ramírez, C., Uscanga, E., Ramos, R., & Reyes, A. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. En *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28 (1), 39-48. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n1/v28n1a4.pdf>

Martínez, J. & González, L. (2012). Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. (Tesis de maestría). Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena, Colombia.

- Ministerio del Ambiente. (2013). “*El San Pedro*” o “*Achuma*” *El género Echinopsis, Taxonomía, distribución y comercio*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/El-San-Pedro-o-Achuma-g%C3%A9nero-Echinopsis.-Taxonom%C3%ADa-distribuci%C3%B3n-y-Comercio.pdf>
- Nharingo, T. & Ngwenya, T. (2013). Single and binary sorption of lead (II) and zinc (II) ions onto *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) ash. En *International Journal of Innovative Science Engineering and Technology*, 2(4), pp. 419-426. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/290161898_Single_and_binary_sorption_of_leadII_and_zinc_II_ions_onto_Eichhornia_crassipes_water_hyacinth_ash
- Nharingo, T., Zivurawa, M. & Guyo, U. (2015). Exploring the use of cactus *Opuntia ficus indica* in the biocoagulation–flocculation of Pb (II) ions from wastewaters. En *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, 3791–3802. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/282604839_Exploring_the_use_of_cactus_Opuntia_ficus_indica_in_the_biocoagulation-flocculation_of_PbII_ions_from_wastewaters
- Neyra, E. & Llenque, E. (2011). *Grado de contaminación por relaves mineros en la cuenca del río moche (departamento de la libertad)*. (Tesis de licenciatura). Escuela profesional de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Nieto, C. & Orellana, V. (2011). *Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante*. (Tesis de licenciatura). Facultad de ciencias agropecuarias y ambientales, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.

- Olivero, R. Mercado, I. & Montes, L. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. En *Producción Más Limpia*, 1, pp. 19-27. Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=29bbe162-73c0-46ce-80e1-d81d9909556b%40sessionmgr4006>
- Ovando, F. (2012). *Modificación de biopolímero extraído de nopal (Opuntia ficus indica) y su aplicación para la remoción de metales pesados en agua*. (Tesis de maestría). Escuela de Post Grado. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C., Potosí, Bolivia.
- Palta, G. & Morales, S. (2013). Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. En *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11 (2), pp. 57-65. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200007
- Paucara, C. (2017). *Caracterización Física y Química De La Tuna (Opuntia Ficus Indica) En El Municipio De Luribay Provincia Loayza Del Departamento De La Paz*. (Tesis de licenciatura). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Sánchez, T., Tapia, L., Cano, N. & Dextre, A. (2017). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa*, 2, 583 - 598. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v24n2/a10v24n2.pdf>

Perú. Ministerio de Agricultura y Riego (2016). *Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA:*

Aprobación del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Recuperado de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf

Quispe, H. (2012). *Aplicación del Mucílago Extraído De Nopal (Opuntia Ficus- Indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma.* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohml~n, Tacna, Perú.

Ramírez Arcila, A. & Jaramillo, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *En Revista de Ciencias Básicas, 11(2)*, 136-153. doi: 10.18359/rfcb.1303

Ramos, J. (2002). Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos en los invernaderos del poniente Almeriense. (Tesis doctoral). Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Almería, España. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=EaxMAQAAQBAJ&lpg=PA1&dq=metales%20pesados&hl=es&pg=PA46#v=onepage&q=plomo&f=false>

Rani, C. & Jadhav, M. (2012). Enhancing filtrate quality of turbid water incorporating seeds of *Strychnos potatorum*, pads of *Cactus opuntia* and mucilage extracted from the fruits of *Coccinia indica* as coagulants. *En Journal of environmental research and development, 7(2)*, 668-674. Recuperado de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133058727>

Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA. *Clasificación de los cuerpos de aguas continentales superficiales* (febrero 21, 2018). Pág. 17. Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/62260>

Restrepo, A. (2009). Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M. & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. En *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 2, pp. 66-77. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6096110.pdf>

Riaño, N. (2007). Fundamentos de química analítica básica. Análisis cuantitativo. Colombia: Universidad de Caldas. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=CfxqMXYfu7wC&lpg=PA19&dq=definici%C3%B3n%20de%20concentraci%C3%B3n%20qu%C3%ADmica&pg=PA19#v=onepage&q=definici%C3%B3n%20de%20concentraci%C3%B3n%20qu%C3%ADmica&f=false>

Rivas, S., Menés, G., & Romulo, A. (2017). Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara. En *Revista Scielo*, 2, pp. 173-183. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852017000200002&lng=es&nrm=iso

Rodríguez Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. En *MEDISAN*, 21(12), pp. 1-14. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v21n12/san122112.pdf>

Romero, J. (2002). *Calidad del agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado de https://books.google.com.pe/books/about/Calidad_del_agua.html?id=_2PfMwEA CAAJ&redir_esc=y

Russell, D. (2012). *Tratamiento de aguas residuales: Un enfoque práctico*. Illinois: Reverté.

Silva, M. (2017). *Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias*. (Tesis de Licenciatura). Escuela de Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Sotheeswaran, S., Nand, V., Matakite, M., & Kanayathu, K. (2011). Moringa oleifera and other local seeds in water purification in developing countries. En *Research Journal of Chemistry and Environment*, 15 (2), pp. 135-138. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/255484408_Moringa_oleifera_and_Other_Local_seeds_in_Water_Purification_in_Developing_Countries

Subramanium, S., Vikashni N. & Matakite, M. (2011). Moringa oleifera and other local seeds in water purification in developing countries. En *Research Journal of Chemistry and Environment*, 15 (2), pp. 135–138. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/11532799.pdf>

Torres, F. (2012). *Análisis comparativo del proceso de floculación-coagulación en la potabilización de agua de río, usando como fuente de captación el Río Daule y el*

Río Babahoyo en la Provincia del Guayas. (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Ubillus, J. (2003). Estudio sobre la presencia de plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/ubillus_lj/cap2.pdf

Vázquez, D. (1994). *Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales.* (Tesis de Maestría). Escuela de Ingeniería, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México

Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T. & Kumar, A. (2011). Application of plant based coagulants for waste water treatment. En *International journal of advanced engineering research and studies*, 1 (2), pp. 88-92. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/284430035_Application_of_plant_based_coagulants_for_waste_water_treatment

Villanueva, J. (2019). *Efecto de tres concentraciones de mucílago de tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) y de San Pedro (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & G.D. Rowley) en la clarificación del agua.* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Villabona, A., Paz, I. & Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. En *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4776461>

- Villena, J. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. En *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304-308. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v35n2/a19v35n2.pdf>
- Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. En *Process Biochemistry*, 9, 1437-1444. doi: 10.1016/j.procbio.2010.05.030

ANEXOS

ANEXO n° 1. Matriz de consistencia

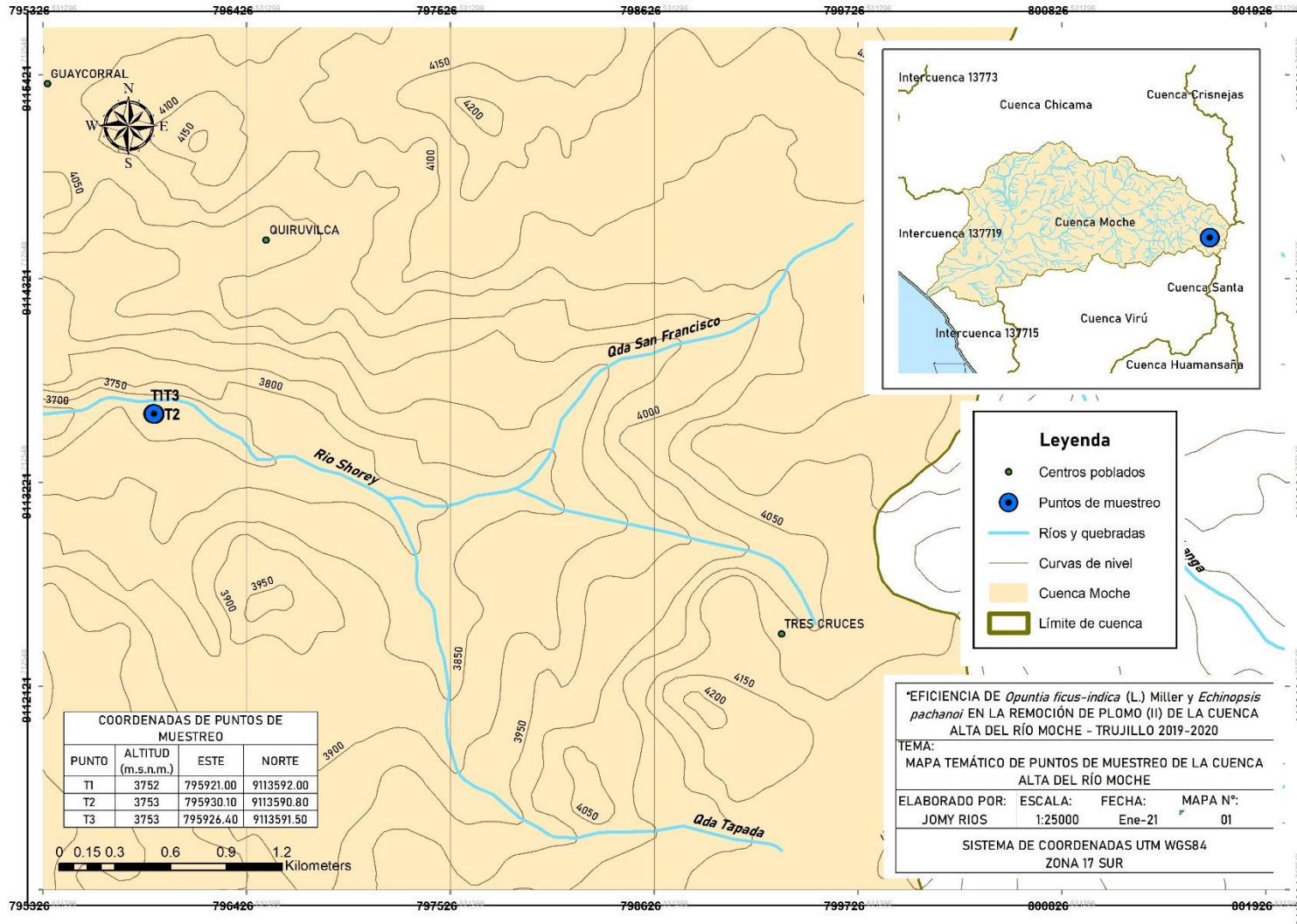
TÍTULO: “EFICIENCIA DE LAS CACTÁCEAS <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller y <i>Echinopsis pachanoi</i> EN LA REMOCIÓN DE PLOMO (II) DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MOCHE”					
PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p>GENERAL</p> <p>¿Cuál es la eficiencia de tres concentraciones de los coagulantes <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller y <i>Echinopsis pachanoi</i> en la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del Río Moche?</p> <p>ESPECÍFICOS:</p> <p>¿Cuál es el efecto del tiempo de toma de muestra en el proceso de coagulación para la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche?</p> <p>¿Cuáles son las dosis óptimas del mucílago de <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller y <i>Echinopsis pachanoi</i> en el proceso de coagulación midiendo los porcentajes de remoción de plomo (II) de las aguas de la cuenca alta del río Moche?</p> <p>¿Cuáles son los valores de conductividad, pH y oxígeno disuelto de las aguas de la cuenca alta del río Moche?</p>	<p>GENERAL</p> <p>Los coagulantes naturales <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller y <i>Echinopsis pachanoi</i> actúan de manera similar en la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche.</p> <p>ESPECIFICOS</p> <p>El tiempo de toma de muestra no tiene efecto en el proceso de coagulación para la remoción de plomo (II).</p> <p>Las dosis óptimas del mucílago <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller y <i>Echinopsis pachanoi</i> en el proceso de coagulación midiendo los porcentajes de remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche son de 20 ppm.</p> <p>Los valores de conductividad, pH y oxígeno disuelto de las aguas de la cuenca alta del río Moche se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para agua.</p>	<p>GENERAL</p> <p>Determinar la eficiencia de las concentraciones de <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller y <i>Echinopsis pachanoi</i> en la remoción de plomo (II) en la cuenca alta del Río Moche.</p> <p>ESPECÍFICOS:</p> <p>Evaluar el efecto del tiempo de toma de muestra en el proceso de coagulación para la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche.</p> <p>Definir las dosis óptimas del mucílago de <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller y <i>Echinopsis pachanoi</i> en el proceso de coagulación midiendo los porcentajes de remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche.</p> <p>Determinar la conductividad, pH y oxígeno disuelto de las aguas de la cuenca alta del río Moche.</p>	<p>VARIABLE 1:</p> <p>Mucílago de <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller y <i>Echinopsis pachanoi</i></p> <p>VARIABLE 2:</p> <p>Concentración de plomo (II)</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Experimental</p> <p>DISEÑO:</p> <p>Factorial con arreglo de 3x3x2x1</p> <p>TÉCNICAS:</p> <p>Experimentos de laboratorio</p> <p>INSTRUMENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cadena custodia • Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales <p>MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS:</p> <p>Comparaciones múltiples de Tukey</p>	<p>POBLACIÓN</p> <p>Flujo del agua de la cuenca del río Moche</p> <p>MUESTRA</p> <p>45 litros de agua de la cuenca alta del río Moche, Quiruvilca Otuzco – La Libertad, tomadas entre noviembre 2019 a enero del 2020</p>

ANEXO n° 2. Matriz de operacionalización de variables

TÍTULO: “EFICIENCIA DE LAS CACTÁCEAS *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller y *Echinopsis pachanoi* EN LA REMOCIÓN DE PLOMO (II) DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MOCHE”

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p><i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Miller "nopal"</p> <p><i>Echinopsis pachanoi</i> "san pedro"</p>	<p>Las cactáceas son tallos modificados que reemplazan la función fotosintética de las hojas. La parte interna está formada por el clorenquima, donde se realiza la fotosíntesis y en la parénquima medular blanco cuya función principal es el almacenamiento de agua. Hay células mucilaginosas en ambos, que almacenan el mucílago el cual se distribuye en los cladodios y frutos (piel y pulpa) de las cactáceas (Ondarza, 2016).</p>	<p>Las cactáceas son especies vegetales, cuya composición ha favorecido su uso como alternativa para un tratamiento de aguas sustentable, además de ser de bajo costo y no presentar efectos nocivos en el medio ambiente. Resalta su gran capacidad para retener agua, gracias a los hidrocoloides presentes en el mucílago (Silva, 2017).</p>	Parámetro orgánico	Concentración de mucílago	Intervalo
<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Concentración de plomo</p>	<p>Es la medida de la cantidad del elemento plomo (II) en una cantidad dada de un solvente. Esta es un especie química estable y persistente, presente en el ambiente de manera natural, pero sobretodo por causas antropogénicas. Concentraciones altas de este metal en la ingesta por parte de los humanos y animales, genera intoxicación; incluso la muerte en estos últimos por su relativa susceptibilidad al Pb. Este elemento no posee función biológica y es de difícil absorción, lo que lo convierte en un metal tóxico y acumulativo (Ramos, 2002; Ubillus, 2003; Riaño, 2007).</p>	<p>El plomo ocasiona alteraciones en los ecosistemas, y por tanto disminuye la calidad de vida de los seres vivos. Es así que, organismos como el Ministerio del Ambiente establecen los niveles de concentración de plomo a los que no representan riesgo importante para la salud de las personas ni del ambiente, mediante los Estándares de Calidad Ambiental para agua (Macías, García y Chaparro, 2017; D.S. 004-2017-Minam).</p>	Parámetro inorgánico	Concentración de iones plomo (II)	Intervalo
<p>Periodo de toma de muestra</p>	<p>Es el espacio de tiempo en donde se desenvuelve una acción y se desarrollan acontecimientos que guardan una relación entre sí y se repiten de manera cíclica. (Vidal,2015)</p>	<p>El tiempo en el proceso de toma de muestra resulta ser un factor importante y significativo, ya que los diferentes parámetros a evaluar dependerán de que si la muestra fue tomada en época de venida o estiaje.</p>	Tiempo	Mes	Intervalo

ANEXO n° 4. Mapa temático de puntos de muestreo



ANEXO n° 5. Obtención de mucílago de la especie *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller



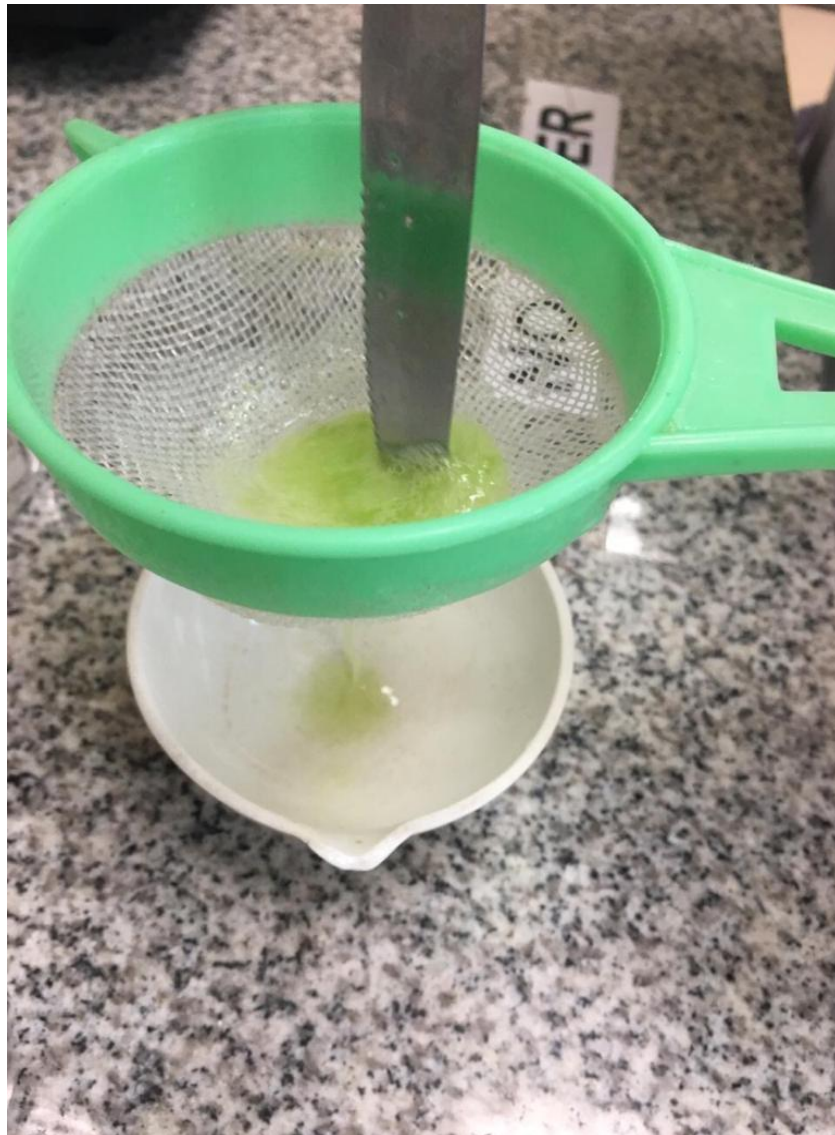
Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 6. Obtención de mucílago de la especie *Echinopsis pachanoi*



Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 7. Tamizado de mucílago



Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 8. Preparación de solución de coagulante



Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 9. Equipo de prueba de jarras



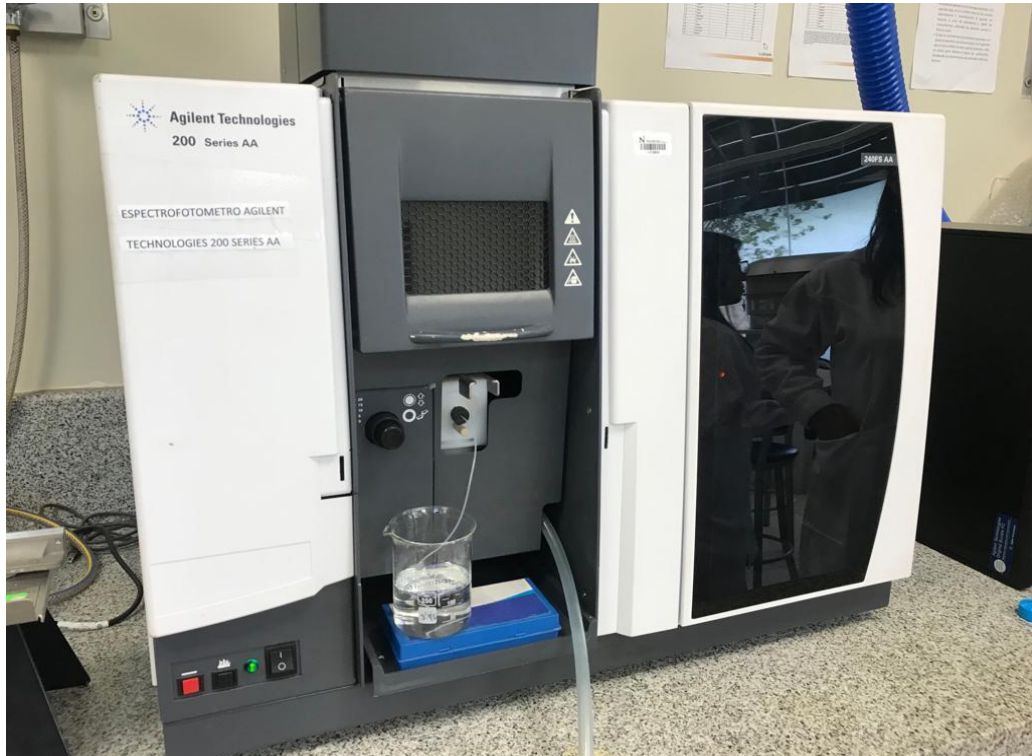
Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 10. Adición de coagulante natural



Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 11. Lectura en el equipo de Absorción atómica AGILENT 240FS



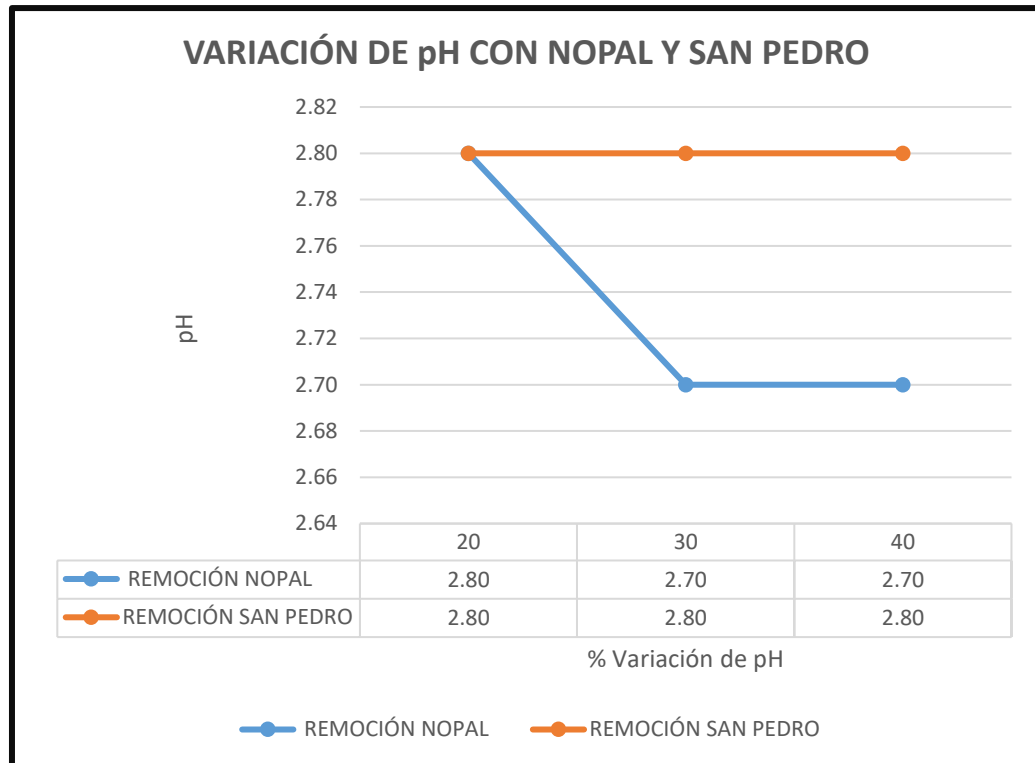
Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 12. Valores iniciales de parámetros fisicoquímicos del flujo de agua del río Moche

MES	REPETICIONES	CONCENTRACIONES INICIALES			
		pH	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	Pb (mg/L)
Nov-19	1	3.12	1162	8.42	0.45
	2	3.13	1164	8.40	0.46
	3	3.13	1163	8.42	0.46
	Promedio	3.13	1163	8.41	0.46
Dic-19	1	3.1	1160	8.42	0.43
	2	3.11	1159	8.41	0.43
	3	3.09	1160	8.43	0.43
	Promedio	3.10	1160	8.42	0.43
Ene-20	1	2.89	1140	8.29	0.35
	2	2.91	1141	8.31	0.35
	3	2.90	1139	8.30	0.38
	Promedio	2.90	1140	8.30	0.36

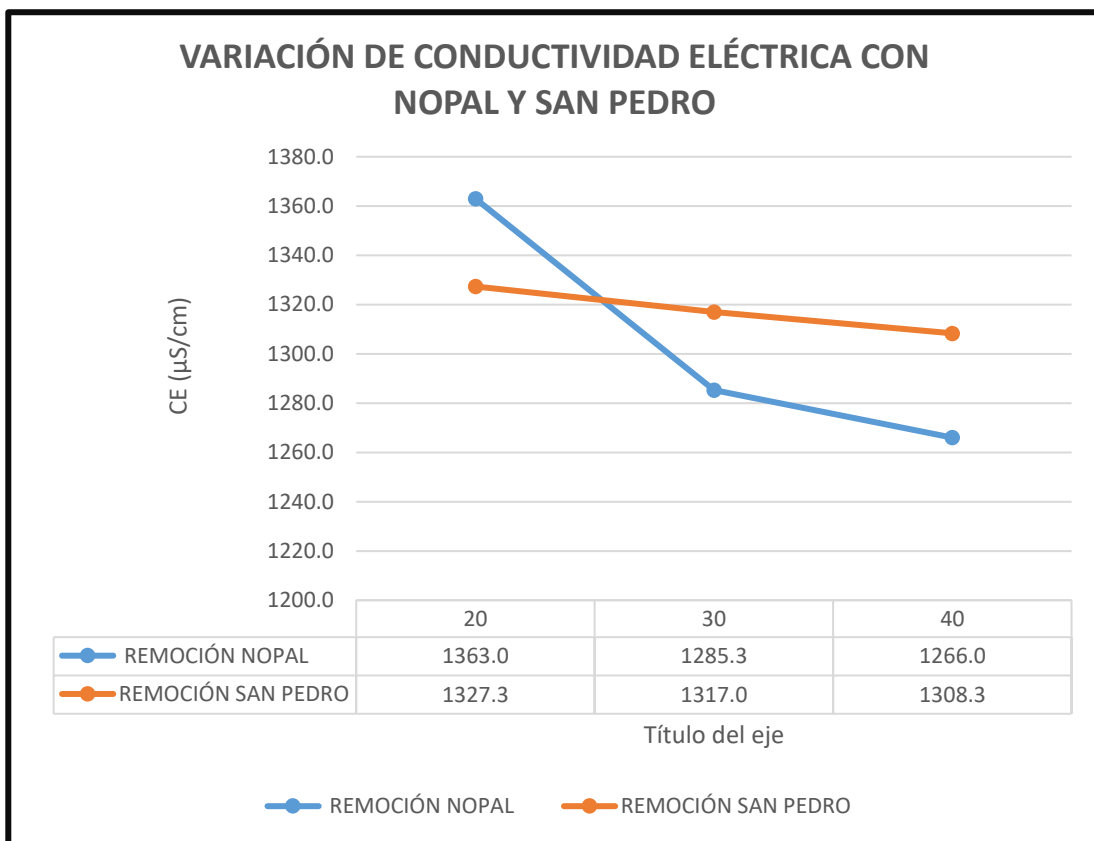
Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 13. Efecto del nopal y san pedro como coagulante sobre el pH



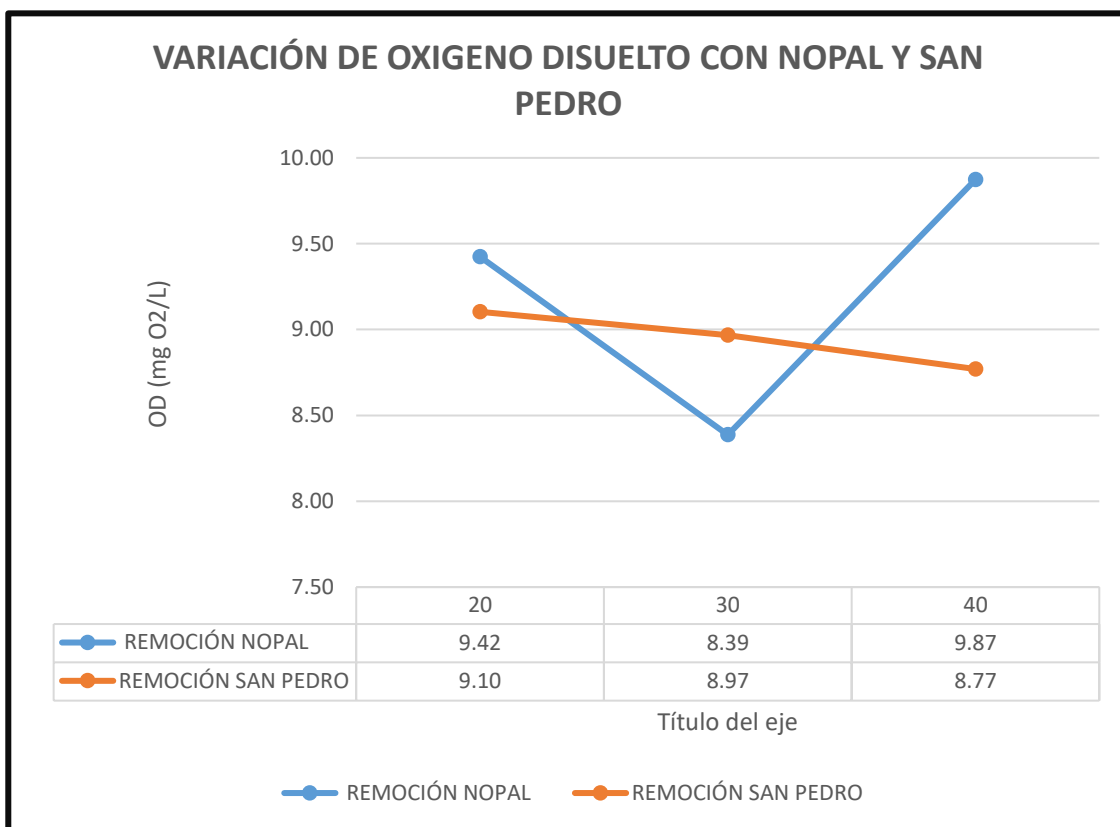
Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 14. Efecto del nopal y san pedro como coagulante sobre la conductividad



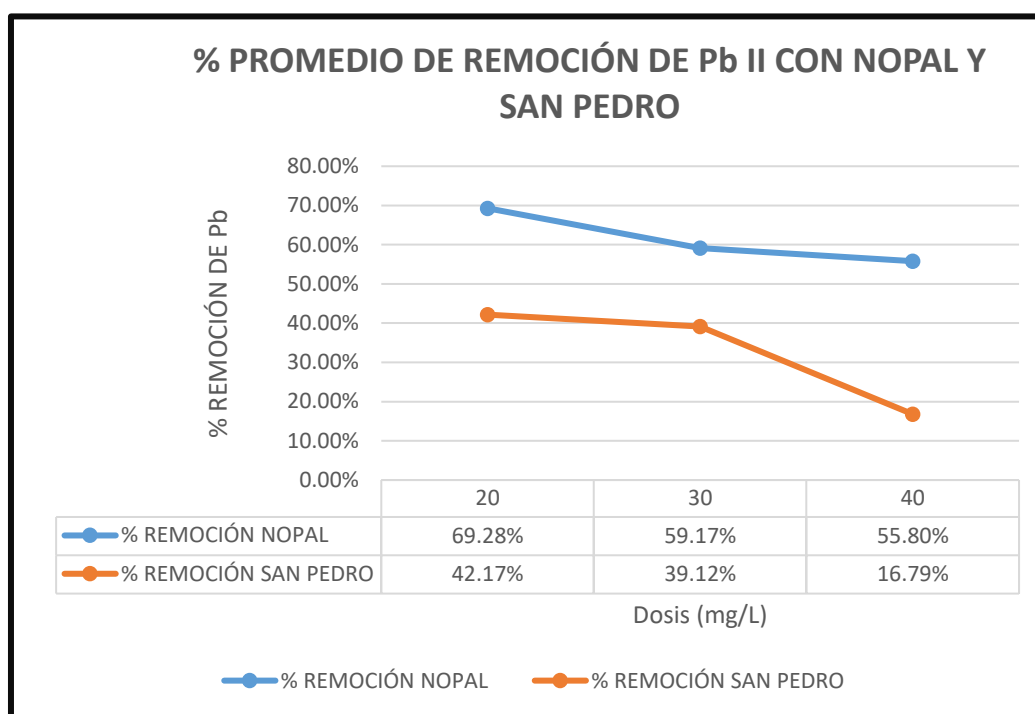
Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 15. Efecto del nopal y san pedro como coagulante sobre el oxígeno disuelto



Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 16. Porcentaje promedio de remoción de Pb II de tres concentraciones de los coagulantes nopal y san pedro



Fuente: Autoría propia

ANEXO n° 17. Estándares de Calidad Ambiental para agua, categoría 3

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICO- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0.1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	μS/cm	2500		5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	mg/L	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1000		1000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,005		1

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Cromo total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µS/L	0,02		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratón	µS/L	35		35
Organoclorados				
Aldrín	µS/L	0,004		0,7
Clordano	µS/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloetano (DDT)	µS/L	0,001		30
Dieldrín	µS/L	0,5		0,5
Endosulfán	µS/L	0,01		0,01
Endrín	µS/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µS/L	0,01		0,03
Lindano	µS/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µS/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000	2000	1000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

Fuente: Ministerio del Ambiente