



Religación
Press

Biopolímero quitosano comercial

Impacto en la eliminación de
metales pesados en los ríos

Laura Isabel Gutierrez Escarcena, Antonio Manuel Otoy Zelada,
Eliás Fernando Haro Aro, Haniel Solís Muñoz

| Colección Ingeniería |

Biopolímero quitosano comercial

Impacto en la eliminación de metales pesados en los ríos

Laura Isabel Gutierrez Escarcena, Antonio Manuel Otoyá Zelada,
Elias Fernando Haro Aro, Haniel Solís Muñoz

RELIGACION PRESS
QUITO · 2023



Equipo Editorial

Hernán Díaz R. Editor Jefe

Roberto Simbaña Q. Director Editorial

Felipe Carrión. Director de Comunicación

Ana Benalcázar. Coordinadora Editorial

Ana Wagner. Asistente Editorial

Consejo Editorial

Jean-Arsène Yao | Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova | Fabiana Parra |
Mateus Gamba Torres | Siti Mistima Maat | Nikoleta Zampaki | Silvina
Sosa



Religación Press, es una iniciativa del Centro de Investigaciones CICSHAL-
RELIGACIÓN.

Diseño, diagramación y portada: Religación Press.

CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.

Correo electrónico: press@religacion.com

www.religacion.com

Biopolímero quitosano comercial. Impacto en la eliminación de metales pesados en los ríos

Commercial chitosan biopolymer. Impact on the removal of heavy metals in rivers

Biopolímero comercial de quitosana. Impacto na remoção de metais pesados em rios

Primera Edición: 2023 Laura Isabel Gutierrez Escarcena©, Antonio Manuel Otoya Zelada©, Elias Fernando Haro Aro©, Haniel Solís Muñoz©, Religación Press©

Editorial: Religación Press
Materia Dewey: 660.2 - Temas generales en Ingeniería química
Clasificación Thema: PNC - Química medioambiental
BISAC: TECHNOLOGY & ENGINEERING / Environmental / Water Supply
Público objetivo: Profesional/Académico
Colección: Ingeniería
Serie: Estudios Ambientales
Soporte: Digital
Formato: Epub (.epub)/PDF (.pdf)
Publicado: 2023-12-13
ISBN: 978-9942-642-61-5

Disponible para su descarga gratuita en <https://press.religacion.com>

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)



Citar como (APA 7)

Gutierrez Escarcena, L.I., Otoya Zelada, A.M., Haro Aro, E.F., y Solís Muñoz, H. (2023). *Biopolímero quitosano comercial. Impacto en la eliminación de metales pesados en los ríos*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.106>

ISBN: 978-9942-642-61-5



Nota: el libro retoma y amplía, por un grupo de investigadores, lo mostrado en la tesis "Remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial" presentada ante la Universidad Nacional de Trujillo, por Laura Isabel Gutierrez Escarcena.

Revisión por pares / Peer Review

Este libro fue sometido a un proceso de dictaminación por académicos externos. Por lo tanto, la investigación contenida en este libro cuenta con el aval de expertos en el tema, quienes han emitido un juicio objetivo del mismo, siguiendo criterios de índole científica para valorar la solidez académica del trabajo.

This book was reviewed by an independent external reviewers. Therefore, the research contained in this book has the endorsement of experts on the subject, who have issued an objective judgment of it, following scientific criteria to assess the academic soundness of the work.

Sobre los autores

Laura Isabel Gutierrez Escarcena

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0001-7705-2106>

lgutierreze@unitru.edu.pe

lauraisage@gmail.com

Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Ingeniería Ambiental.

Antonio Manuel Otoya Zelada

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0001-6460-969X>

amotoyaz@unitru.edu.pe

antonio_otoya@hotmail.com

Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Maestro en Ciencias y Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), facultad de ciencias básicas y en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), facultad de Ingeniería Química.

Elias Fernando Haro Aro

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-7989-6668>

eharoa@unitru.edu.pe

eliasha2017@gmail.com

Doctor en Ingeniería Química Ambiental, Título profesional de Ingeniero Químico, experiencia docente en la Universidad César Vallejo (UCV), ciencias básicas y en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT), Ingeniería Ambiental.

Haniel Solís Muñoz

Universidad Nacional de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-9482-9818>

hsolism@unitru.edu.pe

hanielsolis1979@gmail.com

Ingeniero Químico con títulos de pregrado, maestría y doctorado de la Universidad Nacional de Trujillo. Experto en Ingeniería Química Ambiental, asesor y jurado de tesis. Docente en Química, Cultura Ambiental, Termodinámica, Diseño de Plantas de Tratamiento y más.

Resumen

El biopolímero quitosano comercial se ha utilizado para el tratamiento de adsorción de metales pesados en el punto de monitoreo Rmoch6 del río Moche. Este enfoque alternativo utiliza residuos de conchas de crustáceos, abundantes en la región de Sechura, Piura en Perú. El quitosano se convierte en una materia prima biodegradable que remueve metales pesados del agua del río Moche, usada para agricultura y consumo animal, evitando que causen daño directo o indirecto en nuestro organismo. En la investigación, se analizó la capacidad de un biopolímero comercial de quitosano para eliminar metales pesados del río Moche. Los resultados mostraron que las concentraciones de metales y los parámetros de calidad del agua exceden los estándares, pero el tratamiento con quitosano redujo las concentraciones de metales pesados. La cantidad de quitosano y el tiempo de contacto óptimo para la eliminación de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, plomo y zinc se determinaron mediante la prueba. Además, se encontró que la zeolita natural y Gis-NaP tienen mejor eliminación de arsénico y plomo, mientras que la bentonita nano es mejor en la eliminación de hierro y zinc.

Palabras claves: Piura, materia prima, quitosano.

Abstract

Commercial chitosan biopolymer has been used for heavy metal adsorption treatment at the Rmoch6 monitoring point of the Moche River. This alternative approach uses crustacean shell waste, abundant in the region of Sechura, Piura in Peru. Chitosan becomes a biodegradable raw material that removes heavy metals from the water of the Moche River, used for agriculture and animal consumption, preventing them from causing direct or indirect damage to our organism. In the research, the capacity of a commercial chitosan biopolymer to remove heavy metals from the Moche River was analyzed. The results showed that the concentrations of metals and water quality parameters exceeded the standards, but treatment with chitosan reduced the concentrations of heavy metals. The amount of chitosan and the optimum contact time for the removal of aluminum, arsenic, cadmium, cobalt, copper, iron, lead and zinc were determined by the test. In addition, it was found that natural zeolite and Gis-NaP have better arsenic and lead removal, while nano bentonite is better in iron and zinc removal.

Key words: Piura, raw material, chitosan.

Contenido

Revisión por pares / Peer Review	7
Sobre los autores	8
Resumen	10
Abstract	11

Capítulo 1

Impacto Ambiental de la Minería en Perú **21**

Riesgos de contaminación del agua por negligencia en las explotaciones mineras	23
Tratamiento de agua del río Moche con Quitosano	28

Capítulo 2

Hidrográfica del Pacífico: monitoreo de la calidad de los recursos **33**

El río Moche	34
Variación de Temperaturas en Diferentes Elevaciones en Perú	35
Análisis temporal de los resultados de monitoreo en el río Moche	35
Efectos del drenaje ácido de minas en la calidad del agua y el medio ambiente	37
Metales Pesados y su afección	39
Impacto ambiental del aluminio en la atmósfera y en el agua	42
Presencia de Arsénico	43
El cadmio y sus peligros	44
El cobre y su impacto en el medio ambiente y la salud	45
Precipitación de hierro	46
Impacto del manganeso	47
Efectos negativos del plomo en nuestro organismo	48
Movilidad del zinc	49
Quitosano	50
Fuentes y extracción de Quitosano	51
Proceso para la obtención de quitosano	52
Propiedades fisicoquímicas de Quitosano	56
Peso Molecular de Quitosano	58
Grado de desacetilación de Quitosano	58
Tratamiento de agua empleando quitosano	59
Eliminación de metales	59
Adsorción	60
Isotermas de Adsorción	62

Capítulo 3

Protocolo de investigación: toma de muestras del río Moche 65

Monitoreo del río Moche: Muestreo y evaluación de laboratorio	67
Toma de muestras del río Moche	68
Medición de parámetros y análisis de metales pesados	68
Preservación de la muestra	69
Experimentos de Remoción/Adsorción.	70
Diseño factoriales con dos factores. (modelo sin replicación).	71

Capítulo 4

Remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche 74

Remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial	75
Concentraciones de metales pesados y parámetros de campo. Objetivo 1	81
Diferencia en los tratamientos con diferentes cantidades de quitosano commercial. Objetivo 2	91
Modelo ajustado del porcentaje de remoción final del metal. Objetivo 3	92
Optimización de la cantidad de quitosano comercial y tiempo de contacto. Objetivo 4	93
Isoterma de Lagmuir y Freundlich para la adsorción de metales pesados. Objetivo 5	94
Comparación de porcentaje de remoción de quitosano con otros adsorbentes. Objetivo 6	96

Capítulo 5

Conclusiones 99

Remoción de Metales Pesados del Río Moche con Quitosano Comercial	100
Propuesta	102
Fundamentación de la Propuesta	103
Gestión Ambiental en la Minería: Cierre de Pasivos y Tratamiento de Aguas	104
Estrategias de implementación de la propuesta	105
Evaluación de la propuesta	106
Sostenibilidad Económica:	106
Sostenibilidad Social	107
Sostenibilidad Ambiental	108

Referencias 111

Tablas

Tabla 1. Resultados de Monitoreo de Calidad de Agua en Punto RMoch6.	36
Tabla 2. Clasificación de elementos de acuerdo a la toxicidad en animales y plantas.	40
Tabla 3. Puntos de monitoreos Río Moche.	66
Tabla 4. Tratamientos con Quitosano RMoch6.	71
Tabla 5. Porcentaje de remoción de Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 90min.	76
Tabla 6. Porcentaje de remoción de Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 60min.	78
Tabla 7. Porcentaje de remoción de Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 30min.	80
Tabla 8. Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 90min.	81
Tabla 9. Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 60min	84
Tabla 10. Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 30min.	87
Tabla 11. Parámetros de campo RMoch6 sin tratamiento.	89
Tabla 12. Parámetros de campo RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 90min.	90
Tabla 13. Porcentajes de remoción de metales mediante bentonita y zeolita vs quitosano comercial.	96
Tabla 14. Especificaciones de Tanque de Agitación.	107

Figuras

Figura 1. Ubicación cuenca río Moche.	34
Figura 2. Estructura química tridimensional del biopolímero de quitosano.	50
Figura 3. Procesos Convencional para producción de quitosano.	56
Figura 4. Estructura del quitosano.	57
Figura 5. Ubicación de puntos de monitoreo RMoch6.	66

| Colección Ingeniería |

Biopolímero quitosano comercial

Impacto en la eliminación de metales pesados en los ríos

· Serie ·

Estudios Ambientales

Capítulo 1

Ríos, contaminación y minería

La contaminación de los ríos es un problema mundial que afecta negativamente a los ecosistemas y ciclos del agua. Esto se debe a que algunos ríos transportan sustancias con contenido de aguas residuales industriales y urbanas, las cuales incluyen metales pesados, coliformes fecales y otras bacterias perjudiciales. Esta situación es causada por una mala gestión de residuos sólidos por parte de empresas y Estados.

Según Gómez (2018), los ríos tienen un papel fundamental en los ecosistemas y en los ciclos del agua en todo el mundo. Sin embargo, algunos ríos transportan sustancias con contenido de aguas residuales industriales y urbanas, incluyendo metales pesados, coliformes fecales y otras bacterias. Esto se debe a una mala gestión de los residuos sólidos por parte de empresas y gobiernos. Cueva (2020) menciona que tanto en Asia como en Europa existen ríos con una calidad de agua alterada, como el río Yangtze en China, que tiene descargas de vertimientos de aguas residuales industriales y urbanas sin tratamiento, y el río Danubio, que contiene concentraciones de químicos provenientes de la ganadería y la agricultura.

Según González (2018), en Latinoamérica se presenta una problemática común: la calidad del agua de varios ríos se ve afectada por diferentes factores, como descargas de vertimientos de industrias, aguas residuales, residuos sólidos, descargas agrícolas, drenajes ácidos de rocas y, en algunos casos, incidentes como derrames de petróleo o situaciones de emergencia, lo que hace que el agua no cumpla con las normativas de cada país.

Estos vertimientos contienen metales pesados que pueden causar enfermedades en las personas y animales que consumen el agua de los ríos, ya que estas aguas son utilizadas para el riego de cultivos y hasta para consumo humano.

Gómez (2018) destaca el caso del río Doce en Brasil, donde ocurrió una emergencia y se vertió lodo con contenido de metales pesados. En Bolivia, el río Pilcomayo contiene concentraciones de metales debido al drenaje ácido de minas, donde los principales metales son plata, bario, molibdeno y selenio, superando la legislación del país.

Serna (2018) señala que en Colombia, el río Lili -que abastece de agua a la municipalidad de Santiago de Cali- está siendo afectado por la actividad minera, debido a vertimientos de drenaje ácido. Esta situación es alarmante y requiere una atención inmediata para preservar la salud de los ecosistemas y la población que depende del agua de estos ríos.

Impacto Ambiental de la Minería en Perú

En Perú, la minería formal e informal coexisten, y años atrás, no se contaba con normativas ambientales específicas que regularan los estudios de impacto ambiental y su respectivo control. Como resultado, se han generado pasivos ambientales mineros que generan drenaje ácido de mina que contienen metales pesados como hierro, manganeso, arsénico, talio, plomo, entre otros. Estos elementos se filtran en las cuencas de los ríos y alte-

ran la calidad del agua superficial, superando los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. Además, los vertimientos industriales, aguas residuales de excretas de la población e incluso la disposición de residuos sólidos perjudican a las personas, animales y vegetación que dependen de los ríos como fuente de agua. En Cajamarca, los ríos Hualgayoc y Tingo reciben lixiviados de pasivos ambientales y depósitos de desmonte que tienen un pH ácido y contienen metales pesados. Según Rivera (2015), el río Rímac tiene concentraciones de arsénico, cobre, manganeso, zinc, aluminio, plomo, fosfatos, nitritos y nitratos que superan los estándares de calidad ambiental (ECA) para el agua en la categoría 3, destinada a riego y bebida de animales.

En la región La Libertad tenemos la cuenca del río Moche la cual atraviesa las provincias de Trujillo, Otuzco, Julcán y Santiago de Chuco. El río Moche tiene tramos que contiene concentraciones de metales pesados y coliformes termotolerantes que no cumplen con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales de la normativa peruana.

El Informe Técnico N° 016-2015-ANA-AAAHCCH-SDG-CRH/RELS dice que algunas causas son debido a actividades antropogénicas como la minería que dejaron pasivos ambientales que drenan agua ácida al río Moche, minería informal, escombros con residuos orgánicos e inorgánicos, flujos de aguas residuales domésticas y algunas empresas realizan vertimientos de sus aguas industriales sin tratamiento previo.

En el año 2020 se realizó una supervisión especial realizada por la autoridad local de agua MVCH que quedó plasmada en el Informe Técnico N° 048-2020-ANA-AAA.HCH-ALA.MVCH donde se identificaron vertimientos de origen minero cuyos responsables son la Compañía minera Quiruvilca que realizan un vertimiento de 3l/s de aguas provenientes del depósito de relaves de Santa Catalina, 12 l/s de filtraciones de la cancha de lodos San Felipe y 15 l/s provenientes de la bocamina Almirivilca, un vertimiento de la planta concentradora Virgen de la Puerta ubicado en el distrito de Samne, cuyas aguas terminan finalmente en el río Moche. Existen descargas de aguas domésticas sin tratamiento ubicados en la población de Casmiche, caserío Platanar y el distrito de Poroto hacia el río Moche que están causando impactos negativos. Existen botadores de residuos sólidos localizados en Sinsicap y Shiran ubicados al margen del río Moche, un botadero de actividades de construcción de demolición y un flujo residual del lavadero de carros Ávila también en la margen derecha del río Moche.

Riesgos de contaminación del agua por negligencia en las explotaciones mineras

Es por ello que en año 2018 se declaró estado de emergencia los centros poblados de Shorey Chico y Shorey Grande del distrito de Quiruvilca por el D.S. N°077-2018-PCM debido al posible desborde de los diques de las relaveras de la Unidad Minera Quiruvilca lo cual ocasionaría perjuicios a los pobladores e impactos a los ecosistemas acuáticos dice en el Informe Técnico N° 036-2015-ANA-ALA-MOCHE-VIRÚ-CHAO/MAMM.

Desde el año 2012 se dio inicio al monitoreo participativo a cargo de la Autoridad nacional del agua con la ley de recursos hídricos N°29338 en la cuenca del río Moche donde se evaluaron parámetros físicos, químicos y biológicos, observando que superan los estándares de calidad ambiental para el agua categoría 3 a lo largo de los años e incluso va en aumento. Esto está generando preocupación por la salud de las poblaciones que hacen uso directo e indirecto del agua del río Moche mediante el regado de cultivos, bebidas de animales vacuno y aves de corral, de esta manera estas concentraciones de metales pesados y otros ingresan a la cadena trófica. Por tanto, es urgente atender esta problemática ambiental y de salud pública.

Por causas de estos vertimientos mineros el agua del río Moche presenta varias tonalidades de color desde amarillentas hasta rojizas debido al metal pesado hierro que está presente y en algunos tramos del río y se registraron pH ácidos de 2.3, sulfatos, cobre, aluminio, plomo, arsénico, cadmio, zinc, manganeso y cobalto lo que evidencia afectación de calidad del agua.

En el Informe Técnico N° 034-2020- ANA.AAA.HCH-AT/OEAU se dice que existen algunos tramos el río Moche como por ejemplo el punto RMoch6 donde existe la presencia de metales pesados como por ejemplo hierro, manganeso, cobre y zinc los cuales si son consumidos en exceso pueden variar las funciones biológicas de los seres vivos y causar enfermedades.

Es por ello que las aguas del río Moche deberían ser tratadas antes de su consumo para remover metales pesados del punto RMoch6 usando biopolímero quitosano comercial como una

alternativa de tratamiento de agua, además este biopolímero al ser obtenido de las conchas de crustáceos lo convierte en biodegradable.

Romero (2020) dice que desde hace varios años atrás se ha estudiado el biopolímero quitosano para el tratamiento de aguas como floculante y absorbente. Cercedo (2018) realizó un estudio titulado: Uso del quitosano comercial obtenido de pluma de pota (*Dosidicus gigas*) para la adsorción de cobre (Cu) en aguas contaminadas de la Cuenca Baja del Río Chillón a nivel laboratorio, Lima 2018 en la ciudad de Lima y el país Perú. El objetivo general del estudio fue calcular adsorción de cobre mediante quitosano comercial para dar un tratamiento a las aguas del Río Chillón ubicado en la parte baja. El diseño que se utilizó fue preexperimental, y se aplicará tratamientos con dos tipos de quitosano y diferentes concentraciones de quitosano (tratamiento N°1 tuvo 0.1g de quitosano, el segundo 0.25g, 0.5g y 0.75 g) a una velocidad de 250rpm y tiempo de 10 minutos. Y los resultados obtenidos fueron que la dosis óptima para adsorber mayor concentración de cobre del agua fue 0.1g y 220.97mg/g como eficiencia de adsorción para el cobre y una remoción de 90.2%.

Sánchez (2017), realizó un estudio titulado: Tratamiento de agua del río Rímac para consumo humano utilizando el Quitosano como coagulante en época de estiaje en la ciudad de Lima del país de Perú. El objetivo general del estudio fue utilizar el quitosano como un coagulante para dar tratamiento al agua del río Rímac y remover aluminio, hierro, materia orgánica y turbidez hasta llegar a su potabilidad y sea apta para consumo humano.

El diseño que se utilizó fue experimental usando una concentración al 0.5% de quitosano y una dosis de 21mg/l de coagulante, un tiempo de coagulación de 20 minutos. Y los resultados obtenidos han sido una turbidez final de 0.78NTU y una remoción de aluminio de 80.73% y de hierro de 96.67%

Berrocal (2019) realizó un estudio titulado: Adsorción de iones de plomo empleando quitosano para el tratamiento de aguas contaminadas de la cuenca baja del río chillón en la ciudad de Lima del país Perú. El objetivo general del estudio fue adsorción de plomo mediante quitosano de las aguas del río Chillón parte baja. El diseño que se utilizó fue utilizar quitosano de pluma de langostino y de carcasa de camarón de 0.1g, 0.5g y 1g para tiempos de 10, 20 y 30 minutos a 250rpm, de los cuales se podrán en soluciones de 1 litro de muestras de la cuenca del río Chillón y se medirán los parámetros de pH, conductividad, temperatura y plomo antes y después de aplicar el polímero. Y los resultados obtenidos han sido el quitosano de camarón para 1g, tiempo adecuado 30min, 250rpm fue de 2.37mg/g y 50.97%. Los resultados obtenidos han sido el quitosano de langostino para 1g, tiempo adecuado 30min, 250rpm fue de 2.03mg/g y 43.66%.

Acosta (2018) realizó un estudio titulado: Efecto del tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro en la remoción de turbiedad del Río Santa, en la ciudad de Huaraz en el país de Perú. El objetivo general del estudio consistió en determinar el efecto del tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro para la remoción de turbiedad del Río Santa.

El diseño que se utilizó fue experimental bifactorial, la dosis de los coagulantes naturales productos del exoesqueleto de camarón (quitosano) y el tiempo de agitación a la que serán sometidas las muestras. Y los resultados obtenidos han sido que el tiempo de agitación y la dosis del quitosano para remover la turbiedad del río Santa fue de 30 minutos y 15ml de coagulante (quitosano) a una concentración de 500ppm con una remoción de 81.05%.

Palacios (2018) realizó un estudio titulado: Evaluación de la efectividad del quitosano como removedor de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario del Cantón Mejía en Ecuador. El objetivo general del estudio consistió en determinar la efectividad del quitosano para remover metales de los lixiviados del relleno sanitario “Romerillos” del Cantón Mejía, Provincia de Pichincha. El diseño que se utilizó fue obtener una muestra de 100ml de lixiviados y aplicar el tratamiento con quitosano de 1g a un pH de 3, una velocidad de 100rpm, temperatura y tiempo de contacto de 20°C y 15 minutos respectivamente. Y los resultados obtenidos han sido una reducción de cadmio en 60%, cromo 40% y plomo en 9%, sin embargo, el hierro y zinc no hubo ninguna variación.

Álvarez (2020) realizó un estudio comparativo de la adsorción de aluminio de disoluciones acuosas usando quitosano y cascarilla de arroz, en la ciudad de Lima del país de Perú. El objetivo general del estudio fue el estudio comparativo del equilibrio y cinética de adsorción de aluminio en quitosano y en cascarilla de arroz, y su aplicación en muestras de aguas potable. El diseño que se utilizó fue 1 g del bioadsorbente en 100ml de una disolu-

ción del ión aluminio de 50mg/l y agitada por una hora y a una velocidad de 250rpm. Y Los resultados obtenidos que hay porcentaje de remoción del ión aluminio a un pH mayor que 5 y una remoción de 95.38% para el quitosano. La cinética de adsorción del aluminio con quitosano se asemeja a un modelo de pseudo segundo orden.

Quevedo (2017) realizó un estudio titulado: Determinación de la capacidad de bioadsorción de plomo aprovechando las propiedades del exoesqueleto del camarón en la ciudad de Cuenca en el país de Ecuador. El objetivo general del estudio fue remoción de Plomo por medio de adsorción de quitosano. El diseño que se utilizó en este trabajo fue preparar su propio quitosano mediante exoesqueleto de camarón y caracterizar las propiedades del quitosano mediante espectroscopia y medir la capacidad de adsorción del quitosano sobre una solución preparada de plomo. El proceso de adsorción se trabajó 0.1g/50ml y se obtuvo como resultado una remoción de 74.38%, capacidad de adsorción de 55.24mg/g y se ajusta a isoterma de Lagmuir.

Tratamiento de agua del río Moche con Quitosano

Los metales totales que se encuentran en los ríos alteran la calidad del agua y cuando es consumido por personas de manera directa e indirecta ingresan a nuestro organismo causando daño en nuestros órganos y perjudican nuestra calidad de vida por eso es necesario realizar un tratamiento al agua para eliminar o remover los metales pesados. Existen diversos tratamientos don-

de se utilizan adsorbentes como carbón activado, zeolitas, arena verde, también técnicas de precipitación donde se utilizan reactivos químicos como soda cáustica, lechada de cal, etc. También se tiene la alternativa donde se utiliza el biopolímero quitosano que se obtiene por ejemplo a partir de conchas de crustáceos el cual es biodegradable en el ambiente y tiene aplicación en tratamiento del agua como adsorbente de metales pesados. El quitosano además puede ser obtenido de desechos del procesamiento de mariscos como camarón, cangrejos, etc en el cual se pueden aprovechar las conchas, cabezas y las patas de lo contrario pueden ser desechadas al medio ambiente convirtiéndose en una carga económica y su eliminación sería costosa causando problemas ambientales. Por tanto, el quitosano es obtenido de fuentes renovables no son tóxicos y biodegradables y al ser utilizado como un bioadsorbente de metales en tratamiento de aguas podemos reducir impacto al ambiente y a la salud humana (Mármol Z. 2011).

Actualmente el río Moche tiene concentraciones de metales pesados que exceden el estándar de calidad de agua categoría 3, según los análisis de calidad de agua que realiza periódicamente la autoridad nacional de agua (ANA), esta agua es usada por los agricultores y bebida de animales, los productos van para el consumo humano y estos metales ingresan a acumularse en las personas y causar daño a los sistemas y órganos del cuerpo, es por eso que la agricultura antes de realizar el regado de plantas debe realizar un tratamiento del agua y por ello un tratamiento propuesto es mediante biopolímero quitosano que según estudios puede remover metales pesados, turbidez y hasta tiene actividad microbiana. Este tratamiento podría utilizarse para incluso po-

tabilizar el agua y sea consumido directamente por las personas, es por ello que mediante este proyecto se propone realizar un estudio para remover metales pesados del río Moche.

Velasco (2019) hace referencia que el quitosano puede ser obtenido por ejemplo de residuos de crustáceos. En el Perú en Sechura, Piura existen producción de conchas de abanicos y otros crustáceos por tanto tenemos muchos de este tipo de residuos (Douglas, 2014) que los almacenan directamente en botaderos, estos residuos pueden valorizarse convirtiéndolo en quitosano, el cual nos serviría como materia prima para el tratamiento del agua del río Moche que se utiliza en agricultura, bebida de animales y hasta en la potabilización del agua creando así una cadena de valor. Además, cuando el biopolímero quitosano se convierta en residuo sólido cuando pierda su capacidad adsorbente sería un residuo biodegradable y no tóxico para el medio ambiente. Las personas que consuman directa e indirectamente el agua del río Moche tratada con quitosano disminuirán sus enfermedades agudas o crónicas producidas por estos metales y disminuirán sus gastos médicos.

El objetivo principal de este trabajo es determinar la remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial. Y los objetivos específicos son determinar las concentraciones de metales pesados y parámetros de campo en el punto RMoCh6 para compararlos con el estándar de calidad de agua, categoría 3 y el reglamento de la calidad del agua para consumo humano (D.S. N°031-2010-SA), determinar la diferencia en los tratamientos con diferentes

cantidades de quitosano comercial y tiempo de contacto para la remoción de metales pesados en el punto RMoch6 del río Moche, determinar el modelo ajustado del porcentaje de remoción final del metal en función de la masa de quitosano y tiempo de contacto, optimizar la cantidad de quitosano comercial y tiempo de contacto capaz de remover el mayor porcentaje de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial, determinar el efecto de la masa y tiempo de contacto en la capacidad de adsorción del biopolímero quitosano comercial sobre los metales pesados en el punto RMoch6 del río Moche, determinar la isoterma de Langmuir y Freundlich para la adsorción de metales pesados mediante biopolímero quitosano comercial y comparar el porcentaje de remoción de quitosano con otros adsorbentes (zeolita y bentonita).

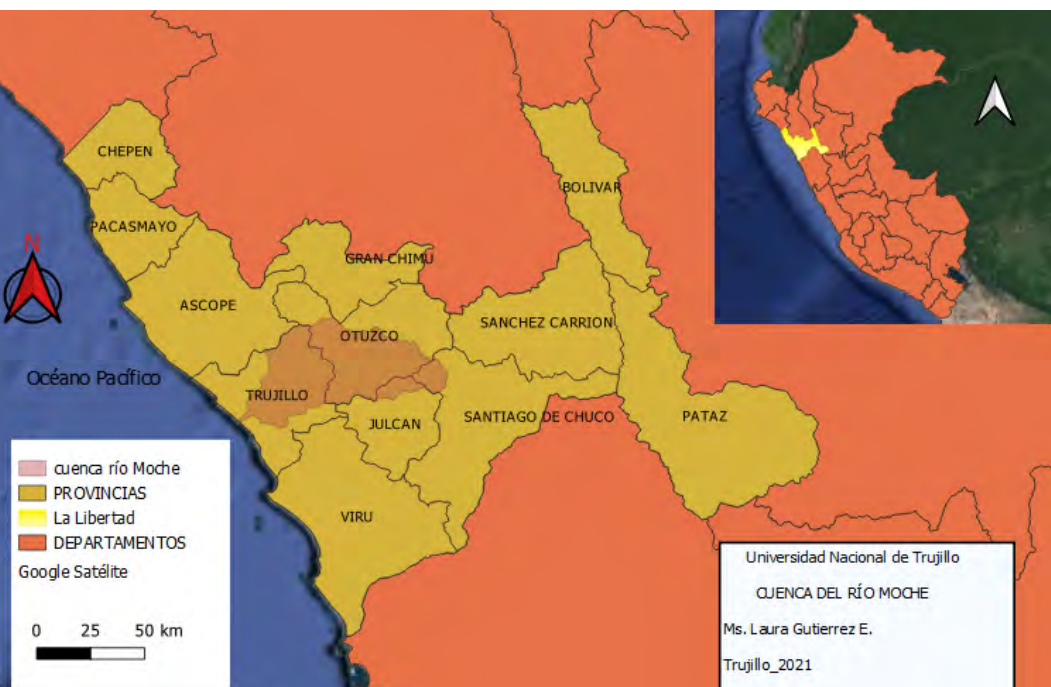
Capítulo 2

Hidrográfica del Pacífico: monitoreo de la calidad de los recursos

El río Moche

El río Moche pertenece a la región hidrográfica del Pacífico y tiene una superficie de 2115.41km^2 . Está localizado en el departamento La Libertad y comprende las provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco y Julcán. La unidad geográfica Moche tiene una extensión de 2708km^2 , un perímetro de 264.283km y un ancho aproximado de 25km .

Figura 1. Ubicación cuenca río Moche.



Variación de Temperaturas en Diferentes Elevaciones en Perú

Según Gorell (2020), las temperaturas anuales promedio en la sierra varían de 6°C en la parte alta a 20°C en la costa baja, con máximas de 28,5°C y mínimas de 14°C. La Estación Samne, ubicada a 1450 msnm, tiene un promedio de temperatura de 14°C, mientras que las áreas entre los 2800 y 3700 msnm tienen un promedio de temperatura de 10°C. En la estación meteorológica Quiruvilca, situada a 4000 msnm, se registró un promedio de temperatura de 8°C.

Análisis temporal de los resultados de monitoreo en el río Moche

El Río Moche está influenciado por factores ambientales, actividades mineras, industriales y poblacionales, lo que puede afectar la calidad del agua. Estos problemas pueden tener un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos y en la salud de los residentes locales.

Desde el año 2012, la Autoridad Nacional del Agua, a través de la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) IV Huar-mey-Chicama y la Administración Local del Agua Moche Virú Chao, han realizado monitoreos para evaluar la calidad del agua del río Moche. Se han evaluado parámetros químicos, físicos y microbiológicos de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R J N° 010-2016-ANA). Durante los monitoreos, se encontró que

el agua en el punto RMoch6 tenía una coloración anaranjada, mientras que en el punto RMoch9 la turbidez del agua era alta.

Tabla 1. Resultados de Monitoreo de Calidad de Agua en Punto RMoch6.

	¹ ECA, cat.3	² D.S. DIGESA	RMoch6						
			Feb-14	Nov-15	Abr-16	Oct-17	Ago-18	Jun-19	Feb-20
pH	6.5-8.5		6.34	7.77	...	6.98	7.03	3.8	2.18
Coliformes fecales	1000	0	7900	330	...	490	70	11	7000
Aluminio	5	0.2	13.51	1.641	...	0.479	0.221	3.556	0.027
Arsénico	0.1	0.01	0.229	0.02	...	0.00655	0.00323	0.12052	0.002
Cadmio	0.01	0.003	0.0126	0.007	...	0.00394	0.00549	0.03455	0.05685
Cobre	0.2	2	0.3305	0.114	...	0.037734	0.0371	1.51	3.332
Hierro	5	0.3	28.108	2.433	...	0.6081	0.2477	11.64	74.93
Manganeso	0.2	0.4	2.1455	2.513	...	0.9308	0.609	4.457	7.14
Plomo	0.05	0.01	0.3957	0.112	...	0.0962	0.0072	0.998	0.1164
Zinc	2	3	0.857	0.9	...	0.2964	0.5166	5.739	8.875

Nota: INFORME TÉCNICO N° 01 O- 2014-ANA-DGCRH-VIG.
INFORME TÉCNICO N° 016, 2015-ANA-AAA.HCH-SDGCRH/RELS

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023.

¹ Estándar de calidad ambiental para agua, categoría 3.

² Reglamento de la calidad del agua para consumo humano de Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).

En la Tabla 1 los valores sombreados de color gris supera los estándares de calidad de agua categoría 3.

Efectos del drenaje ácido de minas en la calidad del agua y el medio ambiente

Nompumelelo (2022) señala que la presencia de drenaje ácido de minas o rocas puede afectar la calidad del agua de los ríos y arroyos, así como la vida acuática. Los recursos minerales, como el oro, la plata y el cobre, contienen minerales de sulfuro, como la piritita (FeS), que liberan ácido sulfúrico cuando se exponen al agua y al oxígeno en el aire en presencia de microorganismos extremadamente acidófilos.

Jacobs (2014) cita a Baker y Banfield (2003) y destaca que las complejas interacciones en las comunidades microbianas de bacterias y arqueas autótrofas y heterótrofas catalizan la oxidación del hierro y el azufre. Esto determina las tasas de liberación de metales y azufre al medio ambiente como drenaje ácido de minas. Incluso las formas de vida eucariotas, como los hongos y levaduras, protozoos, microalgas y rotíferos, pueden formar parte de comunidades microbianas presentes en entornos de pH bajo (p. 4).

Aponte (2020) indica que la minería de tajo abierto, minería subterránea, pilas de lixiviación, depósitos de relaves y desmonte roca estéril contienen minerales con contenido de azufre, principalmente piritita (FeS_2), marcasita (FeS_2), arsenopiritita (FeAsS) y calcopiritita (CuFeS_2). Una vez expuestos al agua y al aire (oxígeno), la piritita se disuelve y se crea ácido sulfúrico. La acidez resulta de la acción de bacterias extremadamente acidófilas, que generan su energía oxidando el hierro ferroso (Fe^{2+}) a hierro férrico (Fe^{3+})

mediante la oxigenación de la respiración celular. El hierro férrico disuelve la pirita para producir sulfato y hierro ferroso soluble, liberando metales y metaloides asociados, como el aluminio, el arsénico o el hierro, en el ambiente circundante. Las concentraciones de metales en el agua pueden fluctuar cada hora, mientras que los metales en el sedimento pueden persistir durante décadas. Los sedimentos están formados por metales precipitados que pueden permanecer mucho tiempo y pueden causar acumulación desde los tallos a la punta de la raíz de las plantas que están en las riberas de los ríos. La concentración de metales puede cambiar en ciclos diarios o estacionales (por ejemplo, relacionados con eventos de lluvia) y es importante reconocer estos ciclos cuando se toman muestras de metales en aguas superficiales.

Por lo tanto, es importante que las actividades extractivas tengan un plan de cierre adecuado para evitar la generación de pasivos ambientales que contribuyan a la alteración de la calidad del agua de los cuerpos superficiales.

El drenaje ácido de minas puede alterar la calidad de las aguas superficiales, los recursos acuáticos y las aguas subterráneas, y también puede impactar el crecimiento de plantas y humedales. Los costos de tratamiento del agua se elevan y pueden dañar las estructuras de concreto y la corrosión de los metales (Benigno, 2020).

Mediante Informe Técnico N°53-2018-ANA-AAA.HCH/ALA.MOCHEVIRUCHAO/AT/CAJM-PEH de fecha 06.02.2018, se da a conocer que la concesión minera Quiruvilca se encontraba en abandono y no realizaba el tratamiento de sus aguas ácidas.

La Relavera Santa Catalina y sus andenes no cuentan con protección y las lluvias han deteriorado su estructura. La Poza de Aguas Ácidas POND se encontró llena, rebosando al río Moche. La Cancha de Lodos San Felipe presentaba erosión y filtraciones, encontrándose inoperativa, disponiendo también aguas ácidas por rebose hacia el río Moche. (INFORME TÉCNICO N° 034-2020- ANA.AAA.HCH-AT/OEAU).

Las aguas superficiales que tienen pH ácido-menores a 3.0 pueden causar impactos negativos en la calidad del agua y los organismos vivos que habitan dentro como peces, crustáceos, renacuajos y plantas. Por ello es necesario realizar actividades preventivas ya que cuando se comienza con los procesos de drenaje ácido el proceso no es fácil revertirlo y se tiene que instalar plantas de tratamientos de aguas y un buen cierre de minas.

Metales Pesados y su afección

Los animales y seres humanos necesitamos de oligoelementos para el desarrollo de nuestras funciones, pero tienen concentraciones que están en rangos determinados que no causan daño a la salud. Los principales elementos son cobre, cobalto, hierro, selenio, flúor, vanadio, zinc, magnesio y yodo (Rodríguez, 2019).

Las concentraciones de metales demasiado bajas pueden provocar deficiencias de nutrientes; las concentraciones de metales que son demasiado altas pueden ser fitotóxicas para las plantas y tóxicas para los animales y los seres humanos (Hernández, 2022). Los elementos esenciales (metales y metaloides) tienen funcio-

nes bioquímicas bien definidas, como la activación de proteínas, incluidas las enzimas; mantener el pH y el equilibrio iónico; y proporcionar integridad estructural y señales metabólicas para la homeostasis. Los oligoelementos o metales son importantes en las funciones vitales, nivel celular, nivel enzimático, respiración y fotosíntesis (Mondragón, 2018).

Los metales, independientemente de su esencialidad o no esencialidad, pueden afectar negativamente a plantas y animales cuando las concentraciones se vuelven excesivas, como las asociadas con el drenaje ácido de rocas. Los mecanismos de protección para mantener el equilibrio entre concentraciones suficientes y excesivas de elementos son parte de este proceso evolutivo.

Tabla 2. Clasificación de elementos de acuerdo a la toxicidad en animales y plantas.

	Esencial para	Esencial para	Tóxico para	Tóxico para
Elementos	Plantas	Animales	Plantas	Animales
Arsénico	No	Si	Si	Si
Boro	Si	No	Si	Desconocido
Cadmio	No	No	Si	Si
Cromo	No	Si	Si	Si
Cobalto	Si	Si	Si	Si
Cobre	Si	Si	Si	Si
Plomo	No	No	Si	Si
Manganeso	Si	Si	Si	Si
Mercurio	No	No	Si	Si
Molibdeno	Si	Si	Si	Si
Níquel	Si	Si	Si	Si

	Esencial para	Esencial para	Tóxico para	Tóxico para
Elementos	Plantas	Animales	Plantas	Animales
Selenio	No	Si	Si	Si
Vanadio	Si	Quizás	Si	Si
Zinc	Si	Si	Si	Si

Fuente: Jacob, 2014 (Citado en Gutierrez Escarcena 2023).

La toxicidad crónica por metales pesados por la vía de exposición al agua potable incluye daños que afectan a la salud; casi todos los sistemas de órganos están involucrados, principalmente el sistema nervioso central, cardiovascular, hematopoyético, gastrointestinal y renal. El arsénico, el cadmio, el cromo hexavalente y el níquel también tienen efectos cancerígenos confirmados adicionales y aumentan el riesgo de contraer cáncer. Después de la absorción intestinal, los metales pesados pueden acumularse en el hígado, los riñones, los huesos, los tejidos blandos y el cabello (Olórtgui, 2022)

Los problemas de salud asociados con el contenido de metales pesados en el agua surgen principalmente de su capacidad para causar efectos adversos para la salud, principalmente, después de períodos prolongados de exposición. Los efectos tóxicos de los metales dependen del nivel de exposición, la vía de exposición, el período de exposición, la forma química, la biodisponibilidad, así como la edad, el estado nutricional y de salud del individuo. Al pasar por el cuerpo humano, varios factores como la absorción, distribución, metabolismo y excreción influyen en

su toxicidad. La mayoría de los metales pesados se unen a grupos sulfhidrilo, inhibiendo así la actividad enzimática, interrumpiendo el transporte celular y provocando cambios en las funciones de las proteínas. Pauca (2022) dice que también se ha estudiado recientemente el papel de los metales como disruptores endocrinos. Esto significa que algunos metales pueden interferir con la biosíntesis, secreción y metabolismo de hormonas, lo que puede conducir a resultados de salud adversos como trastornos reproductivos, tiroides y resultados del desarrollo neurológico y cánceres relacionados con el sistema endocrino. El cadmio y el plomo han sido los metales más estudiados en relación con los niveles hormonales alterados.

Impacto ambiental del aluminio en la atmósfera y en el agua

El aluminio ingresa a la atmósfera como un componente principal de las partículas atmosféricas que se originan en la erosión natural del suelo, actividades mineras o agrícolas, erupciones volcánicas o combustión de carbón (OMS, 2011).

El valor de referencia para el aluminio (Al) de acuerdo con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, categoría 3 (riego de vegetales y bebidas de animales), 2017 del Perú es 5.0 mg/l y en el agua potable es de 0.2 mg / l (DS N° 031-2010-SA Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú, 2011).

Algunas personas que tienen enfermedad renal almacenan mucho aluminio en sus cuerpos. A veces, estas personas desarrollaron enfermedades óseas o cerebrales que pueden ser causadas por el exceso de aluminio.

Presencia de Arsénico

Ferrante (2014) afirma que el elemento arsénico se puede encontrar en la naturaleza en el agua marina (lugar 14 en abundancia), suelo (lugar 20 en abundancia de la corteza terrestre), aire e incluso en tejidos de seres vivos de seres humanos (12 lugar en abundancia). El arsénico es liberado al ambiente por los volcanes, a través de la meteorización de minerales y menas que contienen arsénico, por procesos comerciales, quema de combustibles fósiles, la liberación incontrolada de desechos industriales y la liberación de pesticidas en la agricultura, drenaje ácido, pero también viene como un subproducto de refinar los minerales de otros metales, como el cobre y el plomo (p.19).

El arsénico es persistente en el medio ambiente, las plantas absorben el arsénico con bastante facilidad, por lo que el arsénico puede bioacumularse en los alimentos marinos y vegetales. El valor de referencia para el arsénico (As) de acuerdo ECA para agua, categoría 3 (riego de vegetales y bebidas de animales), 2017 del Perú es 0.1mg/l y en el agua potable es de 0.01 mg /l (DS N° 031-2010-SA) El arsénico es un potenciador de la alteración del material genético de los peces y de todos los animales que comen pescado contaminado (ATSDR, 2007).

La National Research Council (2005) dice que, aunque el arsénico es carcinogénico en humanos, la evidencia de carcinogenicidad inducida por arsénico en otros mamíferos es escasa. Ferrante (2014) dice que entre los efectos no cancerígenos del arsénico se encuentran: lesiones dérmicas como hiperpigmentación, hipopigmentación, queratosis principalmente en las palmas y plantas y son indicadores sensibles de la ingestión crónica de arsénico inorgánico y a menudo se utilizan como criterios de diagnóstico para la arsenicosis; enfermedad vascular periférica; enfermedades cardiovasculares; diabetes tipo 2; resultados adversos del embarazo; enfermedades respiratorias (asma). Los estudios de toxicidad genética han demostrado que el arsénico causa mutaciones genéticas, amplificación de genes y detención mitótica (reacción con tubulina) como se mencionó anteriormente.

El cadmio y sus peligros

De acuerdo con Vásquez (2021), el cadmio es un elemento altamente tóxico para los seres humanos, tanto en forma disuelta como respirable, a pesar de no ser esencial. A través de su preferencia por adsorberse en medios ácidos, el cadmio puede resultar tóxico para las células de las plantas y acumularse en su organismo.

El cadmio y sus compuestos son perjudiciales para el correcto funcionamiento de los órganos y tejidos humanos, como los riñones y el hígado. La creciente industrialización y contaminación ambiental, tanto naturales como antropogénicas, han aumentado los niveles de cadmio en la biosfera (Bonilla, 2021).

El Perú ha establecido valores de referencia para el cadmio (Cd) en su agua potable. De acuerdo con el ECA para agua, categoría 3, del 2017, el valor de referencia es de 0.01 mg/l y en el agua potable, el valor es de 0.003 mg/l (DS N° 031-2010-SA).

El cobre y su impacto en el medio ambiente y la salud

El cobre es comúnmente encontrado en minerales de sulfuro, como la calcopirita, CuFeS_2 , la cual es considerada el mineral de cobre más importante en términos económicos. Es fundamental para la absorción de metales por organismos conocer la especiación del cobre en solución, ya que esta suele ocurrir en el agua, tanto de mar como dulce, e incluso en suelos y sedimentos (Justo, 2019).

Los compuestos de cobre se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde fungicidas, algicidas, insecticidas y conservantes de madera hasta galvanoplastia, grabado, litografía, refinación de petróleo y pirotecnia. También se pueden agregar a fertilizantes y alimentos para animales como nutriente para apoyar el crecimiento de plantas y animales. Por lo tanto, se usan también como aditivos alimentarios, por ejemplo, como nutriente y/o agente colorante (ATSDR, 2002). El cobre entra en el medio ambiente a través de diversas fuentes, como la liberación de concentrados de cobre, residuos sólidos, vertimientos, combustión, entre otros. Se encuentra presente en la atmósfera y en aguas superficiales, subterráneas, marinas y de consumo, principalmente en complejos o como material particulado (ATSDR, 2002).

El valor de referencia para el cobre (Cu) según el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, del Perú, en 2017, es de 0,2 mg/l, y en agua potable es de 2,0 mg/l (DS N° 031-2010-SA).

Alminagorta (2018) indica que el consumo excesivo de cobre puede causar anemia, daño hepático y renal. Uno de los efectos adversos más comúnmente reportados del cobre en la salud es el malestar gastrointestinal. Numerosos estudios e informes de casos han informado náuseas, vómitos y/o dolor abdominal en humanos después de la ingestión de agua contaminada con cobre u otras bebidas almacenadas en un recipiente de cobre o latón sin estañar. DeSanto (1984) señala que el cobre es muy tóxico para la mayoría de las plantas acuáticas.

Precipitación de hierro

La turbidez y el color en el suministro de agua potable a menudo se deben a la oxidación natural y la precipitación de hierro y manganeso, según Polanco (2018). Estas partículas pueden generar manchas en ropa, lavabos, inodoros y bañeras, y depositarse en accesorios de plomería y otros aparatos domésticos, comerciales e industriales. Sanjay (2015) indica que se requiere un proceso de tratamiento diseñado para la eliminación de hierro y manganeso.

Para el hierro (Fe), el valor de referencia según la categoría 3 del agua del ECA para agua, 2017 del Perú es de 5.0 mg/l y en el agua potable es de 0.3 mg/l (DS N° 031-2010-SA). La intoxicación

aguda por hierro es común en niños que ingieren grandes cantidades de píldoras que contienen hierro y puede causar vómitos intensos, diarrea, dolor abdominal, conjuntivitis, coroiditis y retinitis si entra en contacto con los tejidos.

Según Sánchez (2021), la intoxicación crónica por hierro suele estar relacionada con enfermedades genéticas y metabólicas, así como con transfusiones sanguíneas repetidas o ingesta excesiva. Las personas con mutaciones HFE de la hemocromatosis hereditaria tienen un mayor riesgo de contraer enfermedades como diabetes, cáncer, cirrosis, artritis, esterilidad e impotencia. El hierro también se asocia con radicales libres oxidativos, por lo que puede ser un factor de envejecimiento. De hecho, aquellos con enfermedad de Alzheimer o Parkinson suelen tener un mayor contenido de hierro en el cerebro (Olmo, 2020).

Impacto del manganeso

El impacto del manganeso en el agua según Becerra (2022) y el valor de referencia según (ECA) para agua, categoría 3 (riego de vegetales y bebidas de animales), 2017 del Perú es de 0.2 mg/l, mientras que para agua potable es de 0.4 mg/l, según el DS N° 031-2010-SA. La presencia de manganeso en fuentes de agua superficiales es común debido al drenaje ácido de roca generado por actividades mineras. El hierro y el manganeso están estrechamente relacionados, por lo que este último también se transporta a largas distancias y se precipita como óxido de manganeso en pH básicos, lo que le da un color negruzco.

Además, según Huamán (2019), el manganeso en nuestro organismo puede tener efectos negativos en nuestra salud. Puede afectar el funcionamiento del cerebro y causar enfermedades como Parkinson, así como también afectar el tracto respiratorio, causando bronquitis. En hombres, la exposición prolongada al manganeso puede causar impotencia. Por otro lado, la deficiencia de manganeso puede generar problemas como obesidad e intolerancia a la glucosa en sangre.

Efectos negativos del plomo en nuestro organismo

Según el Consejo Nacional de Investigaciones (National Research Council) en 2005, el plomo no tiene funciones esenciales en nuestro cuerpo. Por el contrario, su exceso puede dañar diversos sistemas, como el nervioso, circulatorio, la fertilidad, entre otros.

De acuerdo con Quinto (2021), el contacto con plomo es inevitable para todos los seres humanos, ya que se encuentra en muchos objetos cotidianos, como pinturas y gasolinas, y puede ingresar a nuestro cuerpo por la ingestión, inhalación, agua y suelo. El plomo se acumula en los tejidos humanos y puede permanecer allí por largos períodos de tiempo.

En Perú, el valor de referencia establecido por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el plomo en el agua es de 0,05 mg/l en la categoría 3 (riego de vegetales y bebidas de animales) y 0,01 mg/l en el agua potable, según el DS N° 031-2010-SA.

Además, Disalvo (2022) señala que la exposición al plomo puede afectar el comportamiento, la capacidad de aprendizaje, la concentración y la inteligencia.

Movilidad del zinc

Los factores que influyen en la movilidad del zinc en el suelo son varios, como el pH, el potencial de oxidación-reducción, la capacidad de intercambio catiónico, la materia orgánica y las diferentes formas del metal presente. La escasez de zinc se relaciona con una ingesta insuficiente, mientras que la toxicidad en humanos suele ser el resultado de una ingesta accidental, como puede ocurrir con un complejo multivitamínico (Pérez, 2019).

Es importante tener en cuenta que el zinc es imprescindible para el correcto funcionamiento de las plantas y los organismos acuáticos, por lo que una deficiencia en el suelo puede afectar su crecimiento. Sin embargo, un exceso de zinc puede resultar tóxico para ellos.

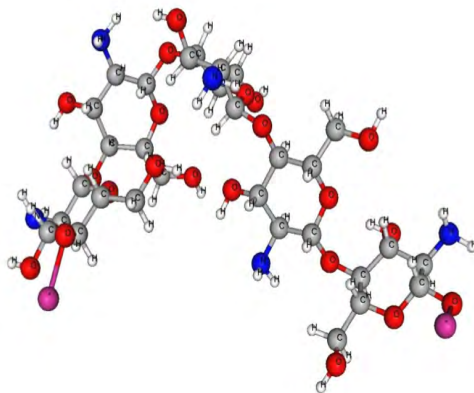
En Perú, el valor de referencia para el zinc (Zn) en el agua es de 2,0 mg/l para la categoría 3 y de 3,0 mg/l para el agua potable (DS N° 031-2010-SA) según el ECA de 2017.

Aunque se sabe que el zinc puede ser tóxico en altas concentraciones, Ferrante (2014) sostiene que este elemento es prácticamente inofensivo para los seres vivos. De hecho, es el único elemento pre, post y de transición que no es citotóxico, sistemáticamente tóxico, mutagénico, teratogénico o carcinogénico.

Quitosano

El quitosano es un biopolímero policatiónico compuesto por residuos de 2-acetamido-2-desoxi- β -D-glucopiranososa y 2-amino-2-desoxi- β -D-glucopiranososa, según Luiz (2017) (ver Figura 2). Los grupos NH_2 y OH en su estructura son los principales responsables de sus propiedades y aplicaciones potenciales ilimitadas. El quitosano fue descubierto por Rouget en 1859 mientras estudiaba formas desacetiladas de quitina. Su producción a escala industrial se registró por primera vez en 1971 en Japón. La “Primera Conferencia Internacional de Quitina y Quitosano” tuvo lugar en 1977 en Boston, EE. UU. Desde entonces, la comunidad científica y la industria han demostrado un interés exponencial en la quitina y el quitosano (p. 4).

Figura 2. Estructura química tridimensional del biopolímero de quitosano.



Fuente: Luiz Dotto et al., 2017 (Citado en Gutierrez Escarcena 2023).

Fuentes y extracción de Quitosano

El quitosano se encuentra en fuentes similares a la quitina, según Ahmed (2017). Pueden extraerse tanto de organismos terrestres como acuáticos, incluyendo gusanos de seda, insectos, abejas, artrópodos, nematodos, crustáceos, langostas, cangrejos, camarones y krill. Además, las setas, las paredes celulares de los hongos, los micelios y los septos, así como las esporas de Zygomycetes y Ascomycetes, también son ricas en quitosano. Para obtener quitosano a partir de estas fuentes, primero se realiza una desmineralización y decoloración para extraer la quitina, y luego se desacetila la quitina.

Por otro lado, Fuentes (2021) afirma que los desechos de los crustáceos pueden ser sometidos a procesos de desmineralización, desproteínización, desodorización y secado para obtener quitina. Luego, la quitina se desacetila, se purifica y se seca para producir quitosano. Este proceso es económicamente factible ya que la materia prima es de bajo costo o incluso gratis, y también puede recuperarse astaxantina. La producción comercial de quitosano se lleva a cabo en varios países, incluyendo Japón, India, China, Italia, Canadá, Chile, Polonia, Noruega, Estados Unidos y Brasil.

Sreerag (2020) señala que el quitosano tiene varias ventajas importantes en comparación con otros polisacáridos, como su biocompatibilidad, biodegradabilidad, no toxicidad, buenas características de formación de película, excelente resistencia química y propiedades electrolíticas.

En cuanto a los precios, Luiz (2017) indica que el quitosano se vende a unos 20 dólares estadounidenses por kilogramo para uso agrícola, a unos 30 dólares estadounidenses por kilogramo para el tratamiento del agua, a 150 dólares estadounidenses por kilogramo para aplicaciones alimentarias y a 500 dólares estadounidenses por kilogramo para uso general en laboratorios. El quitosano de alta pureza al 99% tiene un costo de entre 1000 y 1300 dólares estadounidenses por kilogramo.

Proceso para la obtención de quitosano

Rosero (2019) dice que se utilizan dos procesos principales para obtener quitosano: el proceso convencional y el proceso fermentativo. En el proceso convencional, las fuentes son crustáceos, insectos o moluscos. Li (2015) dice que, en primer lugar, la quitina se aísla de las materias primas mediante varios tratamientos químicos, que eliminan las cenizas, las proteínas, el color y los sabores. Luego, la quitina se transforma en quitosano mediante desacetilación alcalina. La purificación se realiza mediante varios pasos de disolución, precipitación, centrifugación y secado. El proceso convencional es el más común y se utiliza industrialmente. La figura 3 muestra los pasos principales del proceso convencional utilizado para obtener quitosano.

Luiz (2017) dice que el proceso convencional empieza con la etapa de desmineralización, cuyo objetivo es la reducción del contenido de cenizas en los desechos o residuos de crustáceos. Las cenizas están compuestas principalmente por sales minerales

como carbonatos, fosfatos, etc. Xue (2015) dice que la desmineralización se realiza principalmente utilizando soluciones diluidas de HCl (1-10%) con agitación y temperatura ambiente de aproximadamente entre 20 a 30 ° C, por períodos cortos de tiempo de 1-3 h. Con la desmineralización se asegura la eliminación completa del contenido mineral, sin degradación de las cadenas poliméricas de quitina. Xue (2015) dice que se pueden utilizar otros ácidos, como HNO_3 , H_2SO_4 , HCOOH , H_3CCOOH y EDTA. Estos ácidos son eficientes, pero pueden causar daños en la estructura de la quitina, por ejemplo, despolimerización. La segunda etapa es la desproteínización, en esta etapa, se utilizan sustancias alcalinas como NaOH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , KOH , K_2CO_3 o Ca(OH)_2 para eliminar el contenido de proteínas adheridas a los desechos de los crustáceos. Alexandru (2013) dice que la opción más común es el uso de NaOH (1-10%) con agitación y la temperatura utilizada en esta operación varía de 20 a 100 °C y el período de tiempo varía de 2 h a 72 h. Sadiur (2011) dice que la desproteínización requiere un control eficaz del tiempo y la temperatura, ya que las temperaturas elevadas y los períodos de tiempo prolongados pueden provocar la despolimerización y desacetilación.

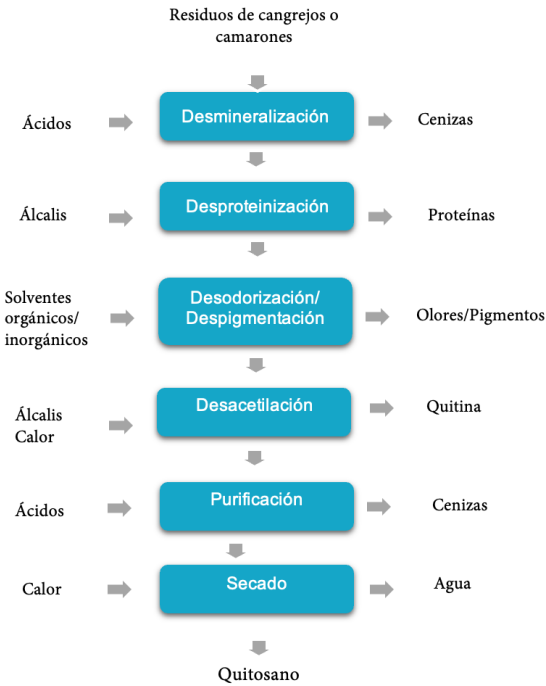
Luiz (2017) dice que la la tercera etapa para aislar la quitina es la desodorización y despigmentación, la cual se realiza para eliminar pigmentos y olores. Para esta se utiliza el etanol, acetona, KMnO_4 , NaOCl o H_2O_2 . Es importante destacar que las etapas antes mencionadas (desmineralización, desproteínización y desodorización / despigmentación) son seguidos de varios lavados consecutivos hasta pH neutro. Después de todos los pasos se obtiene la quitina. La reacción de desacetilación es la etapa

donde la quitina se convierte en quitosano. Durante el curso de la desacetilación, los grupos acetamido de quitina en la posición C-2 se convierten en grupos amino (NH_2). Cuando el porcentaje de grupos amino alcanza alrededor del 50% o más, el polímero se vuelve soluble en medios ácidos acuosos y se llama quitosano. Payuan (2015) dice que la hidrólisis alcalina con NaOH (40-50%) a altas temperaturas (80-120 ° C) es la forma más común de obtener quitosano a partir de quitina. La reacción de desacetilación es afectada por la concentración de la sustancia alcalina o álcali, el tiempo de reacción, la relación sólido-líquido, la temperatura y el tamaño de las partículas de quitina. Luiz (2017) dice que, en la desacetilación, los parámetros de reacción que deben controlarse cuidadosamente ya que afectan directamente las características del quitosano, son el peso molecular, el grado de desacetilación y la cristalinidad. Estas características, a su vez, afectan las propiedades y aplicaciones del quitosano. La etapa de purificación se puede realizar para obtener un quitosano de alta pureza. En esta etapa, el producto de desacetilación se disuelve en medio ácido generando una solución viscosa con una fracción insoluble (compuesta por impurezas, principalmente cenizas que no fueron removidas por completo en el paso de desmineralización). Luego, esta solución viscosa se centrifuga o filtra y se desecha la fracción insoluble. A continuación, se añade el álcali a la solución viscosa, formando una suspensión con el quitosano precipitado. Posteriormente, la suspensión se centrifuga nuevamente, generando quitosano puro (90-95% de quitosano) en forma de pasta. Las etapas antes mencionadas (disolución, centrifugación, precipitación y centrifugación) se pueden repetir muchas veces con el

objetivo de obtener un quitosano de alta pureza (pureza superior al 99,9%).

El secado es el último paso necesario para obtener quitosano. Esta operación es importante en la producción de quitosano, para garantizar el contenido de humedad necesario para el almacenamiento del producto, sin causar alteraciones en el material. En general, después del secado, el producto deseado debe contener un contenido de humedad inferior al 10% (base húmeda), para asegurar buenos aspectos fisicoquímicos y microbiológicos durante un almacenamiento prolongado. Las reacciones de polimerización y Maillard son las principales alteraciones que deben evitarse durante la operación de secado. Algunas técnicas de secado son convección en bandeja, secado por aspersión, secado al sol, secado en horno, secado por infrarrojos, la liofilización y el sobrecalentamiento a baja presión. Se han utilizado secado al vapor para obtener quitosano seco.

Figura 3. Procesos Convencional para producción de quitosano.



Fuente: Luiz Dotto et al., 2017 (Citado en Gutierrez Escarcena 2023).

Propiedades fisicoquímicas de Quitosano

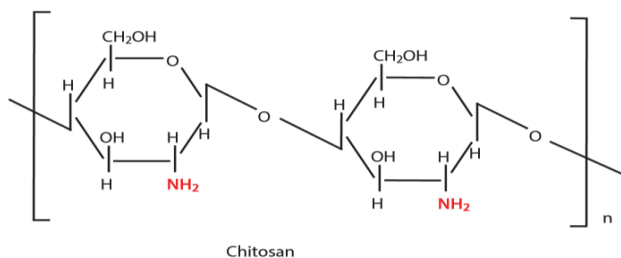
Suneeta (2020) afirma que el quitosano proviene de la quitina y es un polvo insoluble en agua, pero soluble en ácidos orgánicos e inorgánicos.

Ahmed (2017) dice que las principales características que definen al biopolímero de quitosano son su peso molecular y grado de desacetilación. Estas características son fundamentales

para asegurar las propiedades del quitosano, incluyendo solubilidad, carácter policationico, antimicrobiano, biocompatibilidad, bioadhesividad, cristalinidad, área superficial, tamaño de partícula, humedad y contenido de cenizas. Además, las características antes mencionadas son las encargadas de determinar qué material a base de quitosano podría prepararse (películas, nanofibras, nanopartículas, nanocápsulas, andamios, hidrogeles) y cuál será la posible aplicación del biopolímero (tratamiento de aguas, industria alimentaria, cosmética, agricultura, biomedicina).

Tanto la celulosa como la quitina contienen un grupo hidroxilo (-OH) y un grupo N-acetilamina (-NHCOCH₃). Por su parte, el quitosano se compone de un grupo amino (-NH₂) en la posición C-2, lo que lo distingue de la celulosa. El quitosano es una cadena lineal de polisacáridos que se compone de N-acetil-2-amino-2-desoxi-d-glucopiranososa (unidad acetilada) y 2-amino 2-desoxid-glucopiranososa (unidad desacetilada). Las unidades repetidas están unidas por enlaces glucosídicos β-(1 4), como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Estructura del quitosano.



Fuente: Shakeel and Saiqa, 2017.

Peso Molecular de Quitosano

Alcívar (2019) dice que peso molecular del quitosano es una característica asociada con el número de unidades monoméricas del biopolímero. El control, evaluación y modificación de esta característica son fundamentales, ya que el peso molecular afecta las propiedades viscosidad, solubilidad y aplicaciones del quitosano. El peso molecular del quitosano oscila entre 20 y 1200 kDa (Soluciones de quitosano).

Grado de desacetilación de Quitosano

Quispe (2021) dice que el grado de desacetilación influye en las propiedades físicas del quitosano como la temperatura, la viscosidad y en sus propiedades químicas como pH, reactividad y solubilidad.

Sreerag (2020) dice que el grado de desacetilación es la relación entre 2 unidades de acetamido-2-desoxi- β -D-glucopiranososa y 2-amino-2-desoxi- β -D-glucopiranososa. Si todas las unidades monoméricas son 2-amino-2-desoxi- β -D-glucopiranososa, el biopolímero está completamente desacetilado y la desacetilación es igual al 100%.

Ahmed (2017) dice que la alta densidad de carga positiva en la cadena polimérica conduce a un alto grado de desacetilación de alrededor del 97.5%, que a su vez es responsable de una buena actividad antimicrobiana en comparación con un grado leve

o moderado de desacetilación de alrededor del 83.7%. A mayor grado de desacetilación, mayor es su pureza.

Tratamiento de agua empleando quitosano

Eliminación de metales

Sreerag (2020) dice que las aguas residuales industriales crean un grave problema medioambiental ya que pueden contener plaguicidas, fertilizantes, hidrocarburos, fenoles, plastificantes, bifenilos, detergentes, aceites, grasas, productos farmacéuticos, etc., y si éstos se vierten en ríos y lagos representan peligro para calidad del agua. Los biopolímeros no tóxicos y biodegradables, como la quitina y el quitosano, podrían utilizarse en el tratamiento de aguas residuales porque sus propiedades policaiónicas les permiten la capacidad de conglomerarse y precipitar en pH neutro o alcalino. La capacidad adsorbente del quitosano para eliminar contaminantes de aguas residuales (como iones metálicos) se debe al grupo amino (NH_2) e hidroxilo (OH) lo cual le da ventajas con respecto a la celulosa.

Ahmed (2017) dice que, por acción de los grupos funcionales como hidroxilo y amino, la molécula de quitosano actúa como un alto adsorbente que se considera una buena aplicación en agua potable y residual y también en la industria. El quitosano indica una aplicación de alta capacidad en términos de adsorción en iones metálicos. Por lo tanto, es un material potencial para eliminar efluentes orgánicos e inorgánicos de aguas potables y residuales (p. 160).

Ahmed (2017) dice que, en caso de tratamiento de aguas residuales, el quitosano es un adsorbente perfecto para iones de metales pesados y debe poseer propiedades como gran área de superficie, tamaño de poro apropiado, volumen de poro, alta capacidad de adsorción, mejor estabilidad mecánica, buena compatibilidad, facilidad de disponibilidad, facilidad de refuerzo, rentabilidad y respeto por el medio ambiente. El quitosano es un bioadsorbente muy bueno para eliminar metales pesados. Un mayor grado de desacetilación proporciona un mayor número de grupos amina, lo que aumenta la eficacia de unión a metales del quitosano.

Adsorción

Motoyuki (1990) dice “que la adsorción física es causada principalmente por la fuerza de van der Waals y la fuerza electrostática entre las moléculas adsorbidas y los átomos que componen la superficie adsorbente”. Se puede decir que a una mayor superficie específica del adsorbente proporcionará una mayor capacidad de adsorción del adsorbato. Las áreas de adsorción tienen poros, por ello el tamaño de poro es una propiedad importante ya que los adsorbatos pueden acceder a su superficie.

Doung (1998) dice que la separación por adsorción se basa en tres mecanismos distintos: estérico, equilibrio, y mecanismos cinéticos. En el mecanismo de separación estérica, el sólido poroso tiene poros que tienen una dimensión tal que permite la entrada de pequeñas moléculas mientras se excluye grandes moléculas

de entrada. El mecanismo cinético está basado en las velocidades de difusión y el tiempo de exposición, el mecanismo de equilibrio está basado en la capacidad del quitosano a adsorber diferentes especies.

Luiz (2017) dice que la adsorción es el fenómeno en el que se observa la adhesión espontánea de moléculas presentes en un fluido (adsorbato) a una superficie sólida (adsorbente). El grado de adsorción depende de las condiciones termodinámicas, la superficie del adsorbente y la interacción entre el adsorbente y el adsorbato. Esto ocurre debido a la existencia de fuerzas desequilibradas sobre la superficie sólida, que provocan la atracción de las moléculas presentes en el fluido en contacto con el adsorbente sólido durante un tiempo determinado. La adsorción física es un fenómeno reversible, generalmente observado cuando se produce la deposición de más de una capa de adsorbato sobre la superficie del adsorbente. Ruthven (1984) dice que las fuerzas que actúan sobre la adsorción física son idénticas a las fuerzas cohesivas que operan en estado líquido, sólido y gas. Las energías liberadas son relativamente bajas y alcanzan rápidamente el equilibrio. Luiz (2017) dice en cuanto a la remoción de iones metálicos y tintes sintéticos del medio acuoso, la adsorción aparece como un método alternativo, debido a su facilidad de operación y eficiencia frente a los métodos convencionales, los cuales son costosos o técnicamente complicados. Además, es un método versátil que tiene un amplio rango de aplicación y una interesante relación costo/beneficio, especialmente cuando se utilizan adsorbentes de residuos industriales.

Luiz (2017) cita a Kannamba (2009) que la distribución del adsorbato entre la fase sólida y el líquido se alcanza variando la concentración inicial del adsorbato, C_0 , masa del adsorbente, m y volumen constante de la solución, V .

Isotermas de Adsorción

Luiz (2017) cita a Calero (2010) que dice el estudio de equilibrio en la adsorción proporciona información importante para evaluar la afinidad y capacidad de adsorción de un adsorbente en relación con el adsorbato. En los procesos de adsorción, el equilibrio se establece cuando las concentraciones de adsorbato en la fase líquida y la fase sólida no cambian con el tiempo. Este comportamiento se puede estudiar mediante modelos matemáticos denominados isotermas de adsorción. Luiz (2017) dice que las isotermas de adsorción son curvas que representan la capacidad de adsorción, q (masa adsorbato / masa adsorbente) versus la concentración residual del adsorbato en solución en equilibrio C_e , bajo condiciones experimentales específicas.

Doung (1998) dice que Langmuir (1918) propuso una teoría de adsorción relacionada con la cinética, es decir, hay un proceso continuo de bombardeo de moléculas en la superficie y corresponden a una desorción de moléculas de la superficie para mantener un ratio de acumulación cero en la superficie en equilibrio (p. 13).

Luiz (2017) afirma que este modelo asume que un adsorbente tiene sitios específicos, energía de adsorción homogénea e

idéntica, y proporciona una capa de monocapa en la superficie externa del adsorbente. Por tanto, cuando una molécula alcanza un determinado lugar, no puede producirse más adsorción allí.

Motoyuki (1990) dice que los supuestos del modelo de Langmuir son:

1. La superficie es homogénea, es decir, la energía de adsorción es constante durante todos los sitios.

2. La adsorción en la superficie está localizada, es decir, átomos adsorbidos o las moléculas se adsorben en sitios definidos y localizados.

3. Cada sitio puede contener un solo átomo o molécula.

Capítulo 3

Protocolo de investigación: toma de muestras del río Moche

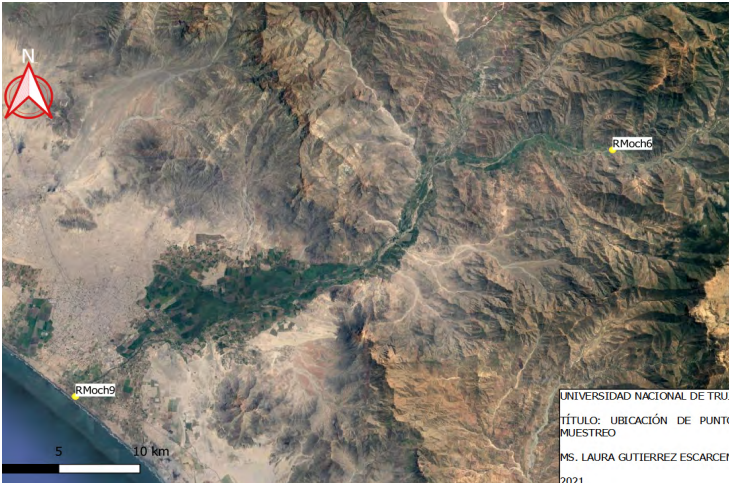
Objeto de estudio es el agua superficial del río Moche en el punto RMoch6 (coordenadas WGS 84 UTM) usando biopolímero quitosano comercial.

Tabla 3. Puntos de monitoreos Río Moche.

N°	Punto de monitoreo	Descripción	Zona	Este	Norte	Altitud (msnm)
1	Rmoch6	Río moche, puente concón/distrito otuzco /prov. Otuzco/dpto la libertad	171	749580	9114059	820

Fuente: Tomado de INFORME TÉCNICO N° 01 O- 2014-ANA-DGCRH-VIG.

Figura 5. Ubicación de puntos de monitoreo RMoch6.



Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023.

Variable Independiente: Cantidad de biopolímero quitosano comercial en base de caparazón de camarones (*pandalus borealis*) con 85% de grado de acetilación fabricado por Tianjin Tianshi Biological Development Co, Ltd. N°16 Xinyuan Road, Wuqing. (masa en gramos). Y tiempo de contacto en minutos.

Variables Dependientes: Remoción de Metales pesados (%), capacidad de adsorción(mg/g).

Monitoreo del río Moche: Muestreo y evaluación de laboratorio

Se llevaron a cabo mediciones en el río Moche para determinar la ubicación de los puntos de muestreo y monitoreo del agua. Para ubicar estos puntos, se utilizó un dispositivo marca Garmin, modelo etrex, para registrar las coordenadas UTM en el sistema WGS84.

Se midieron y registraron los siguientes parámetros de laboratorio: pH (upH), conductividad eléctrica (uS/cm), temperatura (°C) y turbidez (NTU). Para hacerlo, se usaron los equipos multiparámetro Thermo Scientific Orion y Turbidímetro Orion AQ3010. La medición de metales pesados totales se llevó a cabo con un espectrofotómetro de masa Perkim Elmer.

El pesado de quitosano comercial se realizó en una balanza analítica BOECO BAS 31 plus. El tratamiento de las muestras se llevó a cabo con un equipo de prueba de jarras Ken Satlerwhite Special 50 Edition. Se utilizaron vasos de precipitación de pirex de 1000ml, 250ml y una varilla de agitación de vidrio.

Toma de muestras del río Moche

Siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, se realiza la toma de muestras del río Moche se realizará siguiendo el protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA).

El proceso de muestreo se efectuó en el río Moche, siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales según la Resolución Jefatural N°010-2016-ANA. Se tomó una muestra de agua en el punto RMoch6 usando guantes de nitrilo para garantizar la seguridad y la salud ocupacional. La toma de muestra se realizó en dirección contraria al flujo de salida de agua, utilizando un balde de 20 litros transparente y limpio con tapa. La muestra se llevó al Laboratorio de Investigación de Aguas (LIA) de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT) para realizar los respectivos tratamientos con biopolímero quitosano.

Medición de parámetros y análisis de metales pesados

Antes de las mediciones de pH, temperatura, conductividad eléctrica y turbidez, se lavaron los electrodos y celdas con agua destilada. Se agregaron las muestras en un vaso de precipitación (100ml) y se sumergió el electrodo para estabilizar la lectura y registrar el resultado de la medición. Para la turbidez, se agregó la muestra a la celda y se introdujo en el equipo, esperando que indicara la lectura. Una vez terminadas las mediciones de los pará-

metros, se enjuagaron los electrodos y celdas con una pizeta que contenía agua destilada. Luego, se secaron con un pañito absorbente que no realizaba rayaduras y se guardaron en su capuchón que contenía una solución salina.

Los parámetros de campo se midieron con los equipos multiparámetro Thermo Scientific Orion que medían pH, temperatura y conductividad eléctrica. Para la medición de turbidez se empleó el Turbidímetro Orion AQ3010pH. Los equipos de medición se calibraron antes de las mediciones. El espectrofotómetro de masa Perkim Elmer se usó para la determinación de metales pesados. Los análisis para metales totales se realizaron en el Laboratorio SGS del Perú, acreditado por el organismo de acreditación IN-ACAL-DA con registro N°LE-002 por el método de ensayo EPA 200.8, Rev 5.4:1994 (Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry).

Preservación de la muestra

Los envases que contenían las muestras para la medición de metales pesados eran de material plástico con una capacidad de 100 ml cada uno, etiquetados claramente con un código descriptivo de cada muestra tomada. El envase con la muestra se llenó dejando aproximadamente el 1% de la capacidad del envase, espacio suficiente para añadir el preservante y para expulsar el aire antes de taparlo. Además, este espacio permitió agitar y homogenizar la muestra. Las muestras para metales totales se preservaron con 10 gotas de ácido nítrico al 50%, mientras que la muestra para coliformes totales se guardó en una botella de plástico esterilizada

de 250 ml y no se preservó con productos químicos. Las muestras de agua recolectadas, envasadas, preservadas y etiquetadas se colocaron en un cooler refrigerado (ice pack) para asegurar su llegada al laboratorio en condiciones óptimas de conservación. No pasaron más de tres días para realizar la determinación de metales pesados en laboratorio después de la preservación de la muestra.

Experimentos de Remoción/Adsorción.

Para realizar este experimento, sigue los siguientes pasos:

- Pesar 10, 5 y 2.5 gramos de quitosano comercial en una balanza analítica BOECO BAS 31 plus
- Agrega 1000 ml de agua del río Moche a la mezcla
- Deja reposar la mezcla durante 30, 60 y 90 minutos respectivamente, y agita a 150 rpm a temperatura ambiente con el equipo de prueba de jarras Ken Satlerwhite Special 50 Edition
- Toma muestras del agua tratada y realiza un análisis de pH, temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y metales totales.

Con estos pasos, podrás llevar a cabo un tratamiento de agua eficaz utilizando quitosano comercial y el equipo Ken Satlerwhite Special 50 Edition.

Diseño factoriales con dos factores. (modelo sin replicación).

Este experimento estudia la relación entre tres tipos de concentraciones y tres plazos para medir la concentración de metales pesados presentes en el agua del Río Moche. El modelo utilizado cuenta con dos factores: concentración y tiempo. La variable a medir es la concentración de metales totales, y se llevarán a cabo 9 tratamientos en total.

Tabla 4. Tratamientos con Quitosano RMoch6.

Tratamiento/	Tiempo(min)		
	90	60	30
Metales	10g 5g 2.5g	10g 5g 2.5g	10g 5g 2.5g
Al	%R1 %R2 %R3	%R4 %R5 %R6	%R7 %R8 %R9
As			
Ba			
...			
Zn			

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023.

Variable respuesta: Metales pesados (metales totales).
Factor 1: Concentración de quitosano en 3 niveles. (2.5g, 5g y 10g/1000ml)
Factor 2: Tiempo, tres tiempos. (30,60 y 90min)
Tamaño del experimento: Son 9 tratamientos en total.

Confiabilidad: Para el análisis de metales totales de todos los tratamientos se realizó con un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo de acreditación INACAL-DA. Los instrumentos utilizados son calibrados y tienen control de calidad haciendo uso de duplicados y blancos, por tanto, estos instrumentos de medición son confiables.

Análisis estadístico: Para la contrastación de hipótesis se utilizará el software estadístico y se utilizará diseño de experimentos para analizar los resultados del experimento. Se utilizará análisis de varianza ANOVA para determinar los efectos, optimización y coeficientes de regresión.

Capítulo 4

Remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche

Remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial

La muestra tratada con quitosano RMoch6-4 (10g/1000ml) y 90min de tiempo de contacto tiene los porcentajes de remoción mayores que los otros tratamientos y remueve los metales totales que exceden los ECA, categoría 3. Para el arsénico total existe una remoción del 94.05%, cobre total una remoción del 98.30%, hierro total existe una remoción del 94.06%, zinc total tiene una remoción de 93.36%, existe una excepción para el manganeso total que sólo fue de 11.0% y por tanto sigue superando los ECA, cat.3.

La muestra tratada con quitosano RMoch6-4 (10g/1000ml) remueve los metales totales que exceden los LMP del D.S. N°031-2010-SA. Para el arsénico total existe una remoción del 94.05%, aluminio una remoción de 95.28%, cadmio una remoción de 96.60%, cobre total una remoción del 98.30%, hierro total existe una remoción del 94.06%, plomo tiene una remoción de 95.49%, zinc total tiene una remoción de 93.36%. A pesar de estas remociones el aluminio, arsénico, cadmio y hierro no cumplen con los LMP del D.S. N°031-2010-SA.

Los porcentajes de remoción de cobalto y tienen son 62.99% y 84.24% respectivamente.

Las concentraciones de calcio y magnesio total se elevan con el tratamiento con quitosano por eso en la tabla se observan remociones negativas.

Tabla 5. Porcentaje de remoción de Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 90min.

Metales totales	Unidad	RMoch6	RMoch6-4 (10g/1000ml)	RMoch6-5 (5g/1000ml)	RMoch6-6 (2.5g/1000ml)	%Rem1	%Rem2	%Rem3
Aluminio	mg/l	4.623	0.218	0.324	0.525	95.28	92.99	88.64
Total Arsénico	mg/l	0.34051	0.02025	0.03193	0.0488	94.05	90.62	85.67
Bario Total	mg/l	0.0304	0.0304	0.0304	0.0274	0.00	0.00	9.87
Boro Total	mg/l	0.033	0.03	0.026	0.023	9.09	21.21	30.30
Cadmio	mg/l	0.03651	0.00124	0.00288	0.00649	96.60	92.11	82.22
Calcio Total	mg/l	25.303	45.049	35.741	27.772	-78.04	-41.25	-9.76
Cesio Total	mg/l	0.0016	0.0012	0.0012	0.0011	25.00	25.00	31.25
Cobalto	mg/l	0.00708	0.00262	0.00442	0.00548	62.99	37.57	22.60
Cobre Total	mg/l	2.18893	0.03726	0.05632	0.06376	98.30	97.43	97.09
Estroncio	mg/l	0.1578	0.2353	0.197	0.1666	-49.11	-24.84	-5.58
Hierro Total	mg/l	23.7286	1.4102	2.3723	3.5007	94.06	90.00	85.25
Litio Total	mg/l	0.0045	0.0051	0.0054	0.0046	-13.33	-20.00	-2.22
Magnesio	mg/l	8.533	10.982	9.897	8.456	-28.70	-15.98	0.90
Manganeso	mg/l	3.57145	3.17853	3.33732	3.25669	11.00	6.56	8.81
Niquel Total	mg/l	0.0022	0.0082	0.0067	0.0043	-272.73	-204.55	-95.45
Plomo Total	mg/l	0.0288	0.0013	0.0025	0.0038	95.49	91.32	86.81
Potasio Total	mg/l	1.35	1.43	1.32	1.26	-5.93	2.22	6.67
Rubidio	mg/l	0.0035	0.003	0.003	0.0026	14.29	14.29	25.71
Silicio Total	mg/l	11.16	7.99	8.39	8.59	28.41	24.82	23.03
Sodio Total	mg/l	9.383	13.095	10.866	9.746	-39.56	-15.81	-3.87
Talio Total	mg/l	0.00044	0.00032	0.00038	0.00033	27.27	13.64	25.00
Titanio Total	mg/l	0.0203	0.0032	0.0036	0.0021	84.24	82.27	89.66
Zinc Total	mg/l	4.268	0.2832	0.6429	1.4282	93.36	84.94	66.54

Excede el estándar de calidad ambiental para agua ECA, cat.3.

Excede el D.S. N°031-2010-SA del reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

Porcentaje de remoción de los metales totales de ECA, cat.3 y D.S. N°031-2010-SA..

Porcentaje de remoción de Co y Ti.

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023.

La muestra tratada con quitosano RMoch6-4 (10g/1000ml) y 90min de tiempo de contacto tiene los porcentajes de remoción mayores que los otros tratamientos y remueve los metales totales que exceden los estándares de calidad de agua, ECA, categoría 3. Para el arsénico total existe una remoción del 85.89%, cobre total una remoción del 97.59%, fierro total existe una remoción del 86.13%, zinc total tiene una remoción de 89.04%, existe una excepción para el manganeso total que sólo fue de 9.99% y por tanto sigue excediendo los ECA, cat.3.

La muestra tratada con quitosano RMoch6-1 (10g/1000ml) remueve los metales totales que exceden los LMP del D.S. N°031-2010-SA. Para el arsénico total existe una remoción del 85.89%, aluminio una remoción de 87.65%, cadmio una remoción de 94.85%, cobre total una remoción del 97.59%, fierro total existe una remoción del 86.13%, plomo tiene una remoción de 88.19%, zinc total tiene una remoción de 89.04%. A pesar de estas remociones el aluminio, arsénico, cadmio y fierro no cumplen con los LMP del D.S. N°031-2010-SA.

Los porcentajes de remoción de cobalto y titanio son 58.90% y 82.76% respectivamente.

Las concentraciones de calcio y magnesio total se elevan con el tratamiento con quitosano por eso en la tabla se observan remociones negativas.

Tabla 6. Porcentaje de remoción de Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 60min.

*Metales totales	Unidad	RMoch6	RMoch6-1 (10g/1000ml)	RMoch6-2 (5g/1000ml)	RMoch6-3 (2.5g/1000ml)	%Rem1	%Rem2	%Rem3
Aluminio	mg/l	4.623	0.571	0.584	0.692	87.65	87.37	85.03
Total Arsénico	mg/l	0.34051	0.04803	0.0694	0.07167	85.89	79.62	78.95
Bario Total	mg/l	0.0304	0.0316	0.0302	0.0304	-3.95	0.66	0.00
Boro Total	mg/l	0.033	0.03	0.033	0.028	9.09	0.00	15.15
Cadmio	mg/l	0.03651	0.00188	0.00366	0.00841	94.85	89.98	76.97
Total Calcio	mg/l	25.303	38.807	36.258	28.718	-53.37	-43.30	-13.50
Cerio Total	mg/l	0.00454	0.00042	0.00068	0.00092	90.75	85.02	79.74
Cesio Total	mg/l	0.0016	0.0011	0.0012	0.0012	31.25	25.00	25.00
Cobalto	mg/l	0.00708	0.00291	0.00516	0.00647	58.90	27.12	8.62
Total Cobre	mg/l	2.18893	0.05265	0.11487	0.09255	97.59	94.75	95.77
Estroncio	mg/l	0.1578	0.2403	0.1968	0.1779	-52.28	-24.71	-12.74
Hierro Total	mg/l	23.7286	3.2912	4.8791	5.2363	86.13	79.44	77.93
Litio Total	mg/l	0.0045	0.0046	0.0051	0.0049	-2.22	-13.33	-8.89
Magnesio	mg/l	8.533	10.319	9.838	8.868	-20.93	-15.29	-3.93
Total Manganeso	mg/l	3.57145	3.2148	3.40038	3.41907	9.99	4.79	4.27
Niquel Total	mg/l	0.0022	0.0069	0.0073	0.008	-213.64	-231.82	-263.64
Plomo Total	mg/l	0.0288	0.0034	0.0053	0.0062	88.19	81.60	78.47
Potasio	mg/l	1.35	1.38	1.35	1.35	-2.22	0.00	0.00
Total Rubidio	mg/l	0.0035	0.0027	0.0031	0.0029	22.86	11.43	17.14
Silicio Total	mg/l	11.16	8.39	8.76	9.07	24.82	21.51	18.73
Sodio Total	mg/l	9.383	13.125	10.809	9.843	-39.88	-15.20	-4.90
Talio Total	mg/l	0.00044	0.00035	0.00037	0.0004	20.45	15.91	9.09
Titanio	mg/l	0.0203	0.0035	0.004	0.0042	82.76	80.30	79.31
Total Zinc	mg/l	4.268	0.4679	0.7899	1.7118	89.04	81.49	59.89

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023

La muestra tratada con quitosano RMoch6-7 (10g/1000ml) y 30min de tiempo de contacto tiene los porcentajes de remoción mayores que los otros tratamientos excepto para RMoch6-8 en aluminio, hierro y plomo.

Para metales totales que exceden los estándares de calidad de agua, ECA, categoría 3. Para el arsénico total existe una remoción del 92.40%, cobre total una remoción del 97.50%, hierro total existe una remoción del 91.57%, zinc total tiene una remoción de 87.88%, existe una excepción para el manganeso total que sólo fue de 7.23% y por tanto sigue excediendo los ECA, cat.3.

La muestra tratada con quitosano RMoch6-1 (10g/1000ml) remueve los metales totales que exceden los LMP del D.S. N°031-2010-SA. Para el arsénico total existe una remoción del 92.40%, aluminio una remoción de 84.25%, cadmio una remoción de 94.03%, cobre total una remoción del 97.50%, hierro total existe una remoción del 91.57%, plomo tiene una remoción de 92.36%, zinc total tiene una remoción de 87.88%. A pesar de éstas remociones el aluminio, arsénico, cadmio y hierro no cumplen con los LMP del D.S. N°031-2010-SA.

Los porcentajes de remoción de cobalto y titanio son 51.41% y 90.15% respectivamente.

Las concentraciones de calcio y magnesio total se elevan con el tratamiento con quitosano por eso en la tabla se observan remociones negativas.

Tabla 7. Porcentaje de remoción de Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 30min.

Metales totales	Unidad	RMoch6	RMoch6-7 (10g/1000ml)	RMoch6-8 (5g/1000ml)	RMoch6-9 (2.5g/1000ml)	%Rem1	%Rem2	%Rem3
Aluminio Total	mg/l	4.623	0.728	0.36	0.736	84.25	92.21	84.08
Arsénico Total	mg/l	0.34051	0.02589	0.02711	0.09664	92.40	92.04	71.62
Bario Total	mg/l	0.0304	0.0328	0.0292	0.0293	-7.89	3.95	3.62
Boro Total	mg/l	0.033	0.029	0.023	0.02	12.12	30.30	39.39
Cadmio Total	mg/l	0.03651	0.00218	0.00387	0.00912	94.03	89.40	75.02
Calcio Total	mg/l	25.303	38.343	34.579	28.758	-51.54	-36.66	-13.65
Cerio Total	mg/l	0.00454	0.00036	0.0003	0.00101	92.07	93.39	77.75
Cesio Total	mg/l	0.0016	0.0012	0.0011	0.0012	25.00	31.25	25.00
Cobalto Total	mg/l	0.00708	0.00344	0.00473	0.00632	51.41	33.19	10.73
Cobre Total	mg/l	2.18893	0.05475	0.06335	0.14849	97.50	97.11	93.22
Estroncio Total	mg/l	0.1578	0.2425	0.1889	0.1777	-53.68	-19.71	-12.61
Hierro Total	mg/l	23.7286	2.0003	1.8615	6.6798	91.57	92.16	71.85
Litio Total	mg/l	0.0045	0.0059	0.0054	0.0054	-31.11	-20.00	-20.00
Magnesio Total	mg/l	8.533	10.845	9.601	9.156	-27.09	-12.52	-7.30
Manganeso Total	mg/l	3.57145	3.31335	3.35325	3.43057	7.23	6.11	3.94
Niquel Total	mg/l	0.0022	0.0072	0.0053	0.0073	-227.27	-140.91	-231.82
Plomo Total	mg/l	0.0288	0.0022	0.0018	0.007	92.36	93.75	75.69
Potasio Total	mg/l	1.35	1.55	1.37	1.36	-14.81	-1.48	-0.74
Rubidio Total	mg/l	0.0035	0.0029	0.0029	0.0029	17.14	17.14	17.14
Silicio Total	mg/l	11.16	9.09	8.62	9.28	18.55	22.76	16.85
Sodio Total	mg/l	9.383	14.302	10.996	9.857	-52.42	-17.19	-5.05
Talio Total	mg/l	0.00044	0.00037	0.00037	0.0004	15.91	15.91	9.09
Titanio Total	mg/l	0.0203	0.002	0.0023	0.0052	90.15	88.67	74.38
Zinc Total	mg/l	4.268	0.5171	0.7891	1.7124	87.88	81.51	59.88

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023

Concentraciones de metales pesados y parámetros de campo. Objetivo 1

Se busca comparar las concentraciones de metales pesados y parámetros de campo en los puntos RMoCh6 antes y después del tratamiento con biopolímero quitosano comercial, para determinar si cumplen con el estándar de calidad de agua de categoría 3 y reglamento de calidad del agua para consumo humano.

Tabla 8. Metales totales RMoCh6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 90min.

Metales totales	Unidad	RMoch6 Sin tratamiento	D.S. N°31- 2010-SA	ECA, cat.3	RMoch6-4 (10g/1000ml)	RMoch6-5 (5g/1000ml)	RMoch6-6 (2.5g/1000ml)
Aluminio	mg/l	4.623	0.2	5	0.218	0.324	0.525
Total Antimonio	mg/l	0.00357	0.020	**	<0.00013	<0.00013	<0.00013
Total Arsénico	mg/l	0.34051	0.010	0.1	0.02025	0.03193	0.04880
Total Bario	mg/l	0.0304	0.70	0.7	0.0304	0.0304	0.0274
Total Berilio	mg/l	<0.00006	**	0.1	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Total Bismuto	mg/l	<0.00003	**	**	<0.00003	<0.00003	<0.00003
Total Boro	mg/l	0.033	1.5	1	0.030	0.026	0.023
Total Cadmio	mg/l	0.03651	0.003	0.01	0.00124	0.00288	0.00649
Total Calcio	mg/l	25.303	**	**	45.049	35.741	27.772
Total Cerio	mg/l	0.00454	**	**	<0.00024	0.00036	0.00062
Total Cesio	mg/l	0.0016	**	**	0.0012	0.0012	0.0011
Total Cobalto	mg/l	0.00708	**	0.05	0.00262	0.00442	0.00548
Total Cobre	mg/l	2.18893	2.0	0.2	0.03726	0.05632	0.06376
Total Cromo	mg/l	<0.0003	0.050	0.1	0.0102	0.0054	<0.0003
Total Estaño	mg/l	<0.00010	**	**	<0.00010	<0.00010	<0.00010
Total Estroncio	mg/l	0.1578	**	**	0.2353	0.1970	0.1666
Total Fósforo	mg/l	0.178	**	**	<0.047	<0.047	<0.047
Total Galio	mg/l	0.00078	**	**	<0.00012	<0.00012	<0.00012
Total Germanio	mg/l	<0.0006	**	**	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Total Hafnio	mg/l	<0.00015	**	**	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Total Hierro	mg/l	23.7286	0.3	5	1.4102	2.3723	3.5007

Metales totales	Unidad	RMoch6 Sin tratamiento	D.S. N°031- 2010-SA	ECA, cat.3	RMoch6-4 (10g/1000ml)	RMoch6-5 (5g/1000ml)	RMoch6-6 (2.5g/1000ml)
Lantano							
Total	mg/l	<0.0015	**	**	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Litio Total	mg/l	0.0045	**	2.5	0.0051	0.0054	0.0046
Lutecio							
Total	mg/l	<0.00006	**	**	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio							
Total	mg/l	8.533	**	**	10.982	9.897	8.456
Manganeso							
Total	mg/l	3.57145	**	0.2	3.17853	3.33732	3.25669
Mercurio							
Total	mg/l	<0.00009	0.001	0.001	<0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno							
Total	mg/l	<0.00006	**	**	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio							
Total	mg/l	<0.0015	**	**	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	mg/l	0.0022	0.020	0.2	0.0082	0.0067	0.0043
Plata Total	mg/l	<0.000010	**	**	<0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Total	mg/l	0.0288	0.010	0.05	0.0013	0.0025	0.0038
Potasio							
Total	mg/l	1.35	**	**	1.43	1.32	1.26
Rubidio							
Total	mg/l	0.0035	**	**	0.0030	0.0030	0.0026
Selenio							
Total	mg/l	<0.0013	0.010	**	<0.0013	<0.0013	<0.0013
Sílice Total	mg/l	23.88 *	**	**	17.08 *	17.95 *	18.38 *
Silicio Total	mg/l	11.16	**	**	7.99	8.39	8.59
Sodio Total	mg/l	9.383	200	**	13.095	10.866	9.746
Talio Total	mg/l	0.00044	**	**	0.00032	0.00038	0.00033
Tantalio							
Total	mg/l	<0.0021	**	**	<0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	mg/l	<0.003	**	**	<0.003	<0.003	<0.003
Thorio							
Total	mg/l	<0.00019	**	**	<0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio							
Total	mg/l	0.0203	**	**	0.0032	0.0036	0.0021
Uranio							
Total	mg/l	0.000638	0.015	**	<0.000010	<0.000010	<0.000010
Vanadio							
Total	mg/l	<0.0003	**	**	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Wolframio							
Total	mg/l	<0.0006	**	**	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio							
Total	mg/l	0.00017	**	**	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	mg/l	4.2680	3.0	2	0.2832	0.6429	1.4282
Zirconio							
Total	mg/l	<0.00045	**	**	<0.00045	<0.00045	0.525

Nota: El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría. Fuente: Fuente: Gutierrez Escar-cena, 2023.

Excede el estándar de calidad ambiental para agua ECA, cat.3.

Excede el D.S. N°031-2010-SA del reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

Los análisis de metales totales del punto RMoch6 mostraron que el arsénico, cobre, fierro, manganeso y zinc total exceden los estándares de calidad de agua, categoría 3.

Las concentraciones de berilio, bismuto, cromo, estaño, germanio, hafnio, lantano, lutecio, mercurio, molibdeno, plata, selenio, tantalio, telurio, torio, vanadio, wolframio y zirconio están por debajo del límite de detección.

Los análisis de metales totales del punto RMoch6 mostraron que el aluminio, arsénico, cadmio, cobre, fierro, plomo y zinc exceden los límites máximos permisibles de D.S. N°031-2010-SA del reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

Con los tratamientos con quitosano y un tiempo de contacto de 90min el agua cumple con los ECA, categoría 3, para metales totales, excepto para manganeso.

Con los tratamientos con quitosano (10g/1000ml, 5g/1000ml y 2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 90min los metales totales como aluminio, arsénico y hierro exceden los límites máximos permisibles (LMP) del D.S. N°031-2010-SA del reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

Con el tratamiento con quitosano (2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 90min el cadmio excede los límites máximos permisibles del D.S. N°031-2010-SA del reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

En esta investigación la turbidez inicial del río Moche en el punto RMoch6 fue de 40.1 NTU, después del tratamiento con

2.5g de quitosano y un tiempo de contacto de 30 minutos la turbidez fue de 33.8NTU, en comparación con el resultado obtenido por Acosta (2018), cuya remoción de turbidez para ese mismo tiempo fue de 81.05%, en esta investigación la remoción de turbidez es baja (15.7%) y no cumple con el D.S. N°031-2010-SA. En la investigación de Acosta (2018), se utilizó para diluir el quitosano ácido acético ya que el quitosano tiene baja solubilidad en agua.

Tabla 9. Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 60min

Metales totales	Unidad	RMoch6 Sin tratamiento	D.S. N°031- 2010-SA	ECA, cat.3	RMoch6-1 (10g/1000ml)	RMoch6-2 (5g/1000ml)	RMoch6-3 (2.5g/1000ml)
Aluminio Total	mg/l	4.623	0.2	5	0.571	0.584	0.692
Antimonio Total	mg/l	0.00357	0.020	**	<0.00013	<0.00013	<0.00013
Arsénico Total	mg/l	0.34051	0.010	0.1	0.04803	0.06940	0.07167
Bario Total	mg/l	0.0304	0.70	0.7	0.0316	0.0302	0.0304
Berilio Total	mg/l	<0.00006	**	0.1	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Bismuto Total	mg/l	<0.00003	**	**	<0.00003	<0.00003	<0.00003
Boro Total	mg/l	0.033	1.5	1	0.030	0.033	0.028
Cadmio Total	mg/l	0.03651	0.003	0.01	0.00188	0.00366	0.00841
Calcio Total	mg/l	25.303	**	**	38.807	36.258	28.718
Cerio Total	mg/l	0.00454	**	**	0.00042	0.00068	0.00092
Cesio Total	mg/l	0.0016	**	**	0.0011	0.0012	0.0012
Cobalto Total	mg/l	0.00708	**	0.05	0.00291	0.00516	0.00647
Cobre Total	mg/l	2.18893	2.0	0.2	0.05265	0.11487	0.09255
Cromo Total	mg/l	<0.0003	0.050	0.1	0.0050	0.0081	0.0028
Estaño Total	mg/l	<0.00010	**	**	<0.00010	<0.00010	<0.00010

Metales totales	Unidad	RMoch6 Sin tratamiento	D.S. N°031 - 2010-SA	ECA, cat.3	RMoch6-1 (10g/1000ml)	RMoch6-2 (5g/1000ml)	RMoch6-3 (2.5g/1000ml)
Estroncio Total	mg/l	0.1578	**	**	0.2403	0.1968	0.1779
Fósforo Total	mg/l	0.178	**	**	<0.047	<0.047	<0.047
Galio Total	mg/l	0.00078	**	**	<0.00012	<0.00012	0.00016
Germanio Total	mg/l	<0.0006	**	**	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	mg/l	<0.00015	**	**	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	mg/l	23.7286	0.3	5	3.2912	4.8791	5.2363
Lantano Total	mg/l	<0.0015	**	**	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Litio Total	mg/l	0.0045	**	2.5	0.0046	0.0051	0.0049
Lutecio Total	mg/l	<0.00006	**	**	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	mg/l	8.533	**	**	10.319	9.838	8.868
Manganeso Total	mg/l	3.57145	**	0.2	3.21480	3.40038	3.41907
Mercurio Total	mg/l	<0.00009	0.001	0.001	<0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	mg/l	<0.00006	**	**	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Total	mg/l	<0.0015	**	**	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	mg/l	0.0022	0.020	0.2	0.0069	0.0073	0.0080
Plata Total	mg/l	<0.000010	**	**	<0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Total	mg/l	0.0288	0.010	0.05	0.0034	0.0053	0.0062
Potasio Total	mg/l	1.35	**	**	1.38	1.35	1.35
Rubidio Total	mg/l	0.0035	**	**	0.0027	0.0031	0.0029
Selenio Total	mg/l	<0.0013	0.010	**	<0.0013	<0.0013	<0.0013
Sílice Total	mg/l	23.88 *	**	**	17.95 *	18.73 *	19.40 *
Silicio Total	mg/l	11.16	**	**	8.39	8.76	9.07
Sodio Total	mg/l	9.383	200	**	13.125	10.809	9.843
Talio Total	mg/l	0.00044	**	**	0.00035	0.00037	0.00040
Tantalio Total	mg/l	<0.0021	**	**	<0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	mg/l	<0.003	**	**	<0.003	<0.003	<0.003
Thorio Total	mg/l	<0.00019	**	**	<0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	mg/l	0.0203	**	**	0.0035	0.0040	0.0042

Metales totales	Unidad	RMoch6 Sin tratamiento	D.S. N°031- 2010-SA	ECA, cat.3	RMoch6-1 (10g/1000ml)	RMoch6-2 (5g/1000ml)	RMoch6-3 (2.5g/1000ml)
Uranio Total	mg/l	0.000638	0.015	**	<0.000010	<0.000010	<0.000010
Vanadio Total	mg/l	<0.0003	**	**	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Wolframio Total	mg/l	<0.0006	**	**	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	mg/l	0.00017	**	**	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	mg/l	4.2680	3.0	2	0.4679	0.7899	1.7118
Zirconio Total	mg/l	<0.00045	**	**	<0.00045	<0.00045	<0.00045

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023

Con los tratamientos con quitosano (10g/1000ml, 5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 60min el agua cumple con los ECA, categoría 3, para metales totales, excepto para manganeso.

Con los tratamientos con quitosano (2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 60min el agua cumple con los ECA, categoría 3, para metales totales, excepto para manganeso y hierro.

Con los tratamientos con quitosano (10g/1000ml, 5g/1000ml y 2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 60min los metales totales como aluminio, arsénico y hierro exceden los límites máximos permisibles del D.S. N°031-2010-SA. Con el tratamiento con quitosano (5g/1000ml y 2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 60min el cadmio excede los LMP del D.S. N°031-2010-SA.

Tabla 10. Metales totales RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 30min.

Metales totales	Unidad	RMoch6 Sin tratamiento	D.S. N°31-2010- SA	ECA, cat.3	RMoch6-7 (10g/1000ml)	RMoch6-8 (5g/1000ml)	RMoch6-9 (2.5g/1000ml)
Aluminio Total	mg/l	4.623	0.2	5	0.728	0.360	0.736
Antimonio Total	mg/l	0.00357	0.020	**	<0.00013	<0.00013	<0.00013
Arsénico Total	mg/l	0.34051	0.010	0.1	0.02589	0.02711	0.09664
Bario Total	mg/l	0.0304	0.70	0.7	0.0328	0.0292	0.0293
Berilio Total	mg/l	<0.00006	**	0.1	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Bismuto Total	mg/l	<0.00003	**	**	<0.00003	<0.00003	<0.00003
Boro Total	mg/l	0.033	1.5	1	0.029	0.023	0.020
Cadmio Total	mg/l	0.03651	0.003	0.01	0.00218	0.00387	0.00912
Calcio Total	mg/l	25.303	**	**	38.343	34.579	28.758
Cerio Total	mg/l	0.00454	**	**	0.00036	0.00030	0.00101
Cesio Total	mg/l	0.0016	**	**	0.0012	0.0011	0.0012
Cobalto Total	mg/l	0.00708	**	0.05	0.00344	0.00473	0.00632
Cobre Total	mg/l	2.18893	2.0	0.2	0.05475	0.06335	0.14849
Cromo Total	mg/l	<0.0003	0.050	0.1	0.0040	0.0049	0.0059
Estaño Total	mg/l	<0.00010	**	**	<0.00010	<0.00010	<0.00010
Estroncio Total	mg/l	0.1578	**	**	0.2425	0.1889	0.1777
Fósforo Total	mg/l	0.178	**	**	<0.047	<0.047	0.058
Galio Total	mg/l	0.00078	**	**	<0.00012	<0.00012	0.00019
Germanio Total	mg/l	<0.0006	**	**	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	mg/l	<0.00015	**	**	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	mg/l	23.7286	0.3	5	2.0003	1.8615	6.6798
Lantano Total	mg/l	<0.0015	**	**	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Litio Total	mg/l	0.0045	**	2.5	0.0059	0.0054	0.0054
Lutecio Total	mg/l	<0.00006	**	**	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Magnesio Total	mg/l	8.533	**	**	10.845	9.601	9.156
Manganeso Total	mg/l	3.57145	**	0.2	3.31335	3.35325	3.43057
Mercurio Total	mg/l	<0.00009	0.001	0.001	<0.00009	<0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	mg/l	<0.00006	**	**	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Niobio Total	mg/l	<0.0015	**	**	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Niquel Total	mg/l	0.0022	0.020	0.2	0.0072	0.0053	0.0073
Plata Total	mg/l	<0.000010	**	**	<0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Total	mg/l	0.0288	0.010	0.05	0.0022	0.0018	0.0070

Metales totales	Unidad	RMoch6 Sin tratamiento	D.S. N°031-2010- SA	ECA, cat.3	RMoch6-7 (10g/1000ml)	RMoch6-8 (5g/1000ml)	RMoch6-9 (2.5g/1000ml)
Potasio Total	mg/l	1.35	**	**	1.55	1.37	1.36
Rubidio Total	mg/l	0.0035	**	**	0.0029	0.0029	0.0029
Selenio Total	mg/l	<0.0013	0.010	**	<0.0013	<0.0013	<0.0013
Silice Total	mg/l	23.88 *	**	**	19.45 *	18.45 *	19.86
Silicio Total	mg/l	11.16	**	**	9.09	8.62	9.28
Sodio Total	mg/l	9.383	200	**	14.302	10.996	9.857
Talio Total	mg/l	0.00044	**	**	0.00037	0.00037	0.00040
Tantalio Total	mg/l	<0.0021	**	**	<0.0021	<0.0021	<0.0021
Teluro Total	mg/l	<0.003	**	**	<0.003	<0.003	<0.003
Thorio Total	mg/l	<0.00019	**	**	<0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	mg/l	0.0203	**	**	0.0020	0.0023	0.0052
Uranio Total	mg/l	0.000638	0.015	**	<0.000010	<0.000010	<0.000010
Vanadio Total	mg/l	<0.0003	**	**	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Wolframio Total	mg/l	<0.0006	**	**	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	mg/l	0.00017	**	**	<0.00006	<0.00006	<0.00006
Zinc Total	mg/l	4.2680	3.0	2	0.5171	0.7891	1.7124
Zirconio Total	mg/l	<0.00045	**	**	<0.00045	<0.00045	<0.00045

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023.

Con los tratamientos con quitosano (10g/1000ml, 5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 30min el agua cumple con los ECA, categoría 3, para metales totales, excepto para manganeso.

Con los tratamientos con quitosano (2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 30min el agua cumple con los ECA, categoría 3, para metales totales, excepto para manganeso y hierro.

Con los tratamientos con quitosano (10g/1000ml, 5g/1000ml y 2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 60min los metales totales como aluminio, arsénico y hierro exceden los LMP del D.S.

N°031-2010-SA. Con el tratamiento con quitosano (5g/1000ml y 2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 60min el cadmio excede los LMP del D.S. N°031-2010-SA.

Tabla 11. Parámetros de campo RMoch6 sin tratamiento.

Parámetros	Unidades	D.S. N°031-2010-SA	ECA, cat.3	RMoch6
pH	upH	6.5 a 8.5	6.5-8.5	3.5
Temperatura	°C		Δ3	21.6
Conductividad	uS/cm	1500	2500	450.8
Turbidez	NTU	5	**	40.1

Nota: Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.
El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Excede el estándar de calidad ambiental para agua ECA, cat.3.
- Excede el D.S. N°031-2010-SA del reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023.

En la Tabla 11 se mostró que el pH del punto RMoch6 es ácido y no cumple con el estándar de calidad de agua, cat.3 y D.S. N°031-2010-SA del reglamento de la calidad del agua para consumo humano. La turbidez no cumple con D.S. N°031-2010-SA del reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

Tabla 12. Parámetros de campo RMoch6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 90min.

Parámetros	Unidades	D.S. N°031- 2010-SA	ECA, cat.3	RMoch6-4 (10g/1000ml)	RMoch6-5 (5g/1000ml)	RMoch6-6 (2.5g/1000ml)
Ph	upH	6.5 a 8.5	6.5-8.5	7.29	7.12	6.75
Temperatura	°C		Δ3	21.9	22.1	22.1
Conductividad	uS/cm	1500	2500	429.3	374.5	337.1
Turbidez	NTU	5	**	14.7	21.7	24.8

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023.

Luego de aplicado el tratamiento con quitosano a diferentes concentraciones (10g/1000ml, 5g/1000ml y 2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 90min, el pH ácido se eleva a medida que aumenta las concentraciones con quitosano y cumplen con el estándar de calidad de agua, categoría 3. La turbidez sigue por encima del D.S. N°031-2010-SA.

El tratamiento del agua con quitosano se realizó a tres concentraciones diferentes (10g/1000ml, 5g/1000ml y 2.5g/1000ml) y un tiempo de contacto de 60 minutos. Los resultados indican que a medida que aumenta la concentración de quitosano, el pH ácido también aumenta y cumple con los estándares de calidad de agua de la categoría 3. Sin embargo, la turbidez supera el D.S. N°031-2010-SA.

Además, se realizó un tratamiento con las mismas concentraciones de quitosano y un tiempo de contacto de 30 minutos. Los resultados indican que el pH también aumenta, pero en me-

nor medida que en los tiempos de contacto de 60 y 90 minutos. La turbidez sigue siendo alta, superando el estándar de calidad establecido.

En general, los tratamientos con quitosano reducen la turbidez del agua del punto RMoch6, pero aún superan el D.S. N°031-2010-SA.

Diferencia en los tratamientos con diferentes cantidades de quitosano commercial. Objetivo 2

El objetivo fue determinar la diferencia en los tratamientos con diferentes cantidades de quitosano comercial y tiempo de contacto para la remoción de metales pesados en el punto RMoch6 del río Moche.

Se pudo determinar que el aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo, titanio y zinc remueven más del 90% para el tratamiento de masa de 10g y tiempo de 90min. Sin embargo, también hay remoción, pero en porcentajes bajos como el cesio, cobalto, manganeso, rubidio, silicio y talio.

Los resultados que hemos obtenido respecto a la hipótesis general coinciden con lo que encontró Berrocal (2019) en su estudio de adsorción de iones de plomo del agua del río Chillón de Lima en el cual se hay remoción de plomo por el uso de quitosano a base de camarón. Sin embargo, en esta investigación se utilizó 2.5g y una remoción de 75.69% y en la de Berrocal (2019), se utilizó 1g y una remoción de 50.97%.

Los resultados obtenidos en esta investigación para remoción de cadmio y plomo fue 94.03% y 92.36% respectivamente, lo cual no coincide con Palacios (2018), que utilizó una cantidad de 1g para 100ml, lo que equivale a 10g/l, como la usada en esta investigación, obteniéndose una remoción de cadmio de 60%, plomo 9%. De la misma manera tampoco coinciden con la remoción de hierro y zinc, la cual fue de 91.57% y 87.88% mientras que Palacios (2018), no tiene remoción de estos metales pesados y afirma que el quitosano no funciona con concentraciones altas de metales.

De acuerdo con la tabla, los porcentajes de remoción de metales se obtiene variando las cantidades de quitosano con lo cual podemos ver que cuando la masa de quitosano (g) aumenta el porcentaje de remoción de cada metal.

Modelo ajustado del porcentaje de remoción final del metal. Objetivo 3

Se determinó el modelo ajustado del porcentaje de remoción final del metal en función de la masa de quitosano y tiempo de contacto para los metales aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc. Este modelo podemos realizar variaciones de porcentajes de remoción de los metales anteriores cambiando la masa de quitosano(g) y el tiempo (min), esto se realizó mediante un software estadístico. Este modelo sirve para volúmenes de muestra de agua a nivel laboratorio, luego estos resultados se podrían escalar a niveles de planta.

Optimización de la cantidad de quitosano comercial y tiempo de contacto. Objetivo 4

El objetivo fue optimizar la cantidad de quitosano comercial y tiempo de contacto capaz de remover el mayor porcentaje de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial.

También se optimizó la cantidad de quitosano comercial y tiempo de contacto capaz de remover el mayor porcentaje de metales pesados, lo cual quiere decir que para cada metal estudiado se determinó mediante un software estadístico una superficie que representa el %remoción mayor que se podría estimar. El porcentaje de remoción óptimo para estos ensayos fueron 90min de agitación y 10g de quitosano. En la tabla 24 y figura 21 se puede observar que los porcentajes de remoción de manganeso son bajos sólo llegan al 11%, mientras que el cobre tiene una remoción de 98%, esto quiere decir que el quitosano no sería un buen adsorbente para el manganeso.

Resultados del 5° Objetivo Específico: Determinar el efecto de la masa y tiempo de contacto en la capacidad de adsorción del biopolímero quitosano comercial sobre los metales pesados en el punto RMoch6 del río Moche

Según la teoría mencionada en la sección I, el quitosano tiene capacidad de adsorción de metales, lo cual produce transferencia de masa del metal que está en el agua del río Moche (RMoch6) hacia la superficie del quitosano. Los metales son cationes metálicos que buscan sitios libres en la superficie del área del quitosano

en polvo hasta que se ocupen totalmente las capas. Se realizaron ensayos a diferentes masas o cantidades (g) hasta obtener una capacidad de adsorción óptima con la cual con sólo 2.5g de quitosano podemos adsorber iones metálicos.

Según (Carbonel, 2018) menciona que la concentración inicial de metales en el agua tiene una relación directa con la capacidad de adsorción, lo cual quiere decir que cuando se tiene bajas concentraciones de metales la cantidad de metales adsorbidos será baja. En el presente trabajo de investigación las concentraciones iniciales de metales son bajas si consideramos que en otros trabajos se usaron concentraciones desde 10mg/l hasta 50g/l.

Cuando la concentración del adsorbente (quitosano) fue mayor la capacidad de adsorción (mg/g) fue menor, debido a que se tuvo gran cantidad de quitosano (adsorbente) y poca concentración de metales, estos iones metálicos se colocan en los sitios activos y sobrarían espacios por eso se reduce la capacidad de adsorción.

Isoterma de Lagmuir y Freundlich para la adsorción de metales pesados. Objetivo 5

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la isoterma de Lagmuir y Freundlich para la adsorción de metales pesados utilizando biopolímero quitosano comercial.

Resultados:

- Para una cantidad de masa de 10g/l y tiempo de contacto de 60 min, se logró una remoción de aluminio del 87.65%, lo que concuerda con la isoterma de Freundlich. En comparación con la investigación de Álvarez (2020), que utilizó una concentración inicial de 50mg/l de aluminio, se obtuvo una remoción del 95.38% y también se ajusta a la isoterma de Freundlich. En esta investigación, la concentración inicial de aluminio fue de 4.628mg/l.
- Para una masa de 2.5g/l y tiempo de contacto de 90 minutos, se obtuvo una remoción de plomo del 86.81% y se ajusta a la isoterma de Freundlich. Esto difiere de la investigación de Quevedo (2017), en la que se obtuvo una remoción del 74.38% y se ajusta a la isoterma de Langmuir.

Se realizaron curvas y ecuaciones de las isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich para todos los metales estudiados. Estos modelos se utilizaron para optimizar el uso de quitosano y la eficiencia del proceso (Carbonel, 2018). Las curvas muestran cómo los iones metálicos adsorbidos se distribuyen entre la fase sólida y líquida.

La curva de Lagmuir muestra la concentración del adsorbato en la fase líquida después de la adsorción en el eje x y la concentración de adsorbato residual/concentración de equilibrio de iones metálicos en la fase sólida en el eje y. La ecuación de Lagmuir se linealizó para obtener los parámetros del modelo k_L y q_{max} .

Las curvas de Freundlich relacionan los mismos parámetros de Lagmuir, pero la diferencia es que en el proceso de adsorción se forman monocapas (Lagmuir) y multicapas (Freundlich) en la superficie del adsorbente (quitosano).

Las isothermas de Freundlich tienen sus parámetros k_F y n , los cuales se determinaron linealizando el modelo. El modelo de Freundlich se ajusta mejor al aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, plomo y zinc, ya que el coeficiente de determinación r^2 se acerca más a 1.

Comparación de porcentaje de remoción de quitosano con otros adsorbentes. Objetivo 6

El objetivo planteado buscó comparar el porcentaje de remoción de quitosano con otros adsorbentes (zeolita y bentonita).

Tabla 13. Porcentajes de remoción de metales mediante bentonita y zeolita vs quitosano comercial.

Tipo Adsorbente	Metal	Concentración inicial de metales (mg/l)	% Remoción	% Remoción Quitosano	Tratamiento	Cita
Zeolita Gis-NaP	Plomo (Pb)	54.5	97.4	93.75	1 g de zeolita y 150 ml solución Tiempo contacto 8h	Rodriguez (2022)
Zeolita natural	As	3	98	92.4	1g ZeO-Fe en 100ml solución	Ping Wang (2022)

Tipo Adsorbente	Metal	Concentración inicial de metales (mg/l)	% Remoción	% Remoción Quitosano	Tratamiento	Cita
Nano bentonita	Hierro (Fe)	50	98	92.2	Bentonita (20g) disuelta en 100ml HCl(12M), pH=7 0.1g/200ml solución	A.M. Ahmed (2021)
	Zinc (Zn)		96	87.8		
	Níquel (Ni)		96			
Bentonita natural modificada con Calix(B-S-Calix)	Cadmio (Cd)	50	92	94.4	Tiempo contacto 1 hora, pH=8, T=25°C	Khouloud (2021)
	Zinc (Zn)		72	87.8		
	Plomo (Pb)		66	93.7		
	Cobre (Cu)		57	97.5		

Fuente: Gutierrez Escarcena, 2023.

Cuando se comparó el quitosano con zeolita se observó que la zeolita natural y zeolita Gis-NaP tiene mejor remoción de arsénico (AS) y plomo (Pb) respectivamente. La bentonita nano tiene mejor remoción de hierro (Fe) y Zinc (Zn). Sin embargo, la bentonita B-S-Calix mostró menor remoción de cobre y cadmio que el quitosano.

Capítulo 5

Conclusiones

Remoción de Metales Pesados del Río Moche con Quitosano Comercial

En la investigación realizada se llegó a la conclusión general de que el biopolímero quitosano comercial remueve los metales pesados (aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc) del punto RMoch6 del río Moche, mediante el cálculo del porcentaje de remoción y coeficientes de regresión para los metales y ecuaciones de modelo ajustado.

Los resultados de la investigación confirman que las concentraciones de metales pesados y parámetros de campo en el punto RMoch6 exceden el estándar de calidad de agua, categoría 3 para arsénico, cobre, fierro, manganeso, zinc y pH ácido. También se excedió el reglamento de la calidad del agua para consumo humano. (D.S. N°031-2010-SA) para aluminio, cadmio, plomo, arsénico, cobre, fierro, manganeso, zinc, pH ácido y turbidez. Con los tratamientos con diferentes masas de concentraciones y tiempo de contacto se logró remover las concentraciones de metales pesados a un límite menor al ECA, cat.3 excepto para manganeso, sin embargo D.S. N°031-2010-SA aluminio, arsénico, cadmio, fierro y zinc y turbidez. También se pudo observar que la remoción de turbidez es baja.

Los resultados de la investigación indican que no hay una diferencia significativa de los tratamientos para el cálculo de remoción de metales para aluminio, arsénico, cobre, fierro, manganeso y plomo. Sin embargo, el factor de la masa tiene un efecto

significativo en la variable dependiente como el porcentaje de remoción metales pesados como cadmio, cobalto y zinc.

Los resultados de la investigación confirman que la cantidad de quitosano comercial y tiempo de contacto óptimo para remover el mayor porcentaje de aluminio es 7.75g, 90 min y 96.47% respectivamente. Para el arsénico la cantidad óptima es 7.51g, tiempo de contacto 90 min y remoción de 94.79%. Para el cobalto, cobre, fierro, plomo, manganeso y zinc el tiempo de contacto óptimo es de 90 min. La cantidad y %remoción del cadmio es de 8.11g y 98.35%, cobre es de 10g y 98.17%, hierro es de 7.65g y 94.75%, plomo es de 7.83g y 90%, zinc es de 8.3g y 95.83%, manganeso es de 10g y 11.16% y para el cobalto es de 10g y 64.38%.

Los resultados de la investigación indican que el factor masa o cantidad tiene un efecto significativo en la variable dependiente capacidad de adsorción para aluminio, arsénico, cobalto, cobre, fierro, plomo y zinc. Sin embargo, para el cadmio y manganeso el factor masa no tiene un efecto significativo en la capacidad de adsorción. También podemos concluir que con una cantidad de 2.5g tenemos una mejor capacidad de adsorción como en el zinc de 1.11mg/kg.

Los resultados de la investigación indican que se tiene un buen ajuste de datos a la isoterma Freundlich para aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, plomo con un r^2 cercano a 1. El zinc se ajusta mejor a la isoterma de Langmuir y el manganeso no se ajusta a ninguna isoterma, ya que tiene baja remoción y capacidad de adsorción.

La zeolita natural y zeolita Gis-NaP tiene mejor remoción de arsénico (AS) y plomo (Pb) respectivamente. La bentonita nano tiene mejor remoción de hierro (Fe) y Zinc(Zn). Sin embargo, la bentonita B-S-Calix mostró menor remoción de cobre y cadmio que el quitosano.

Propuesta

Al corroborarse que el quitosano comercial remueve metales pesados del punto RMoch6 del río Moche, se da como primera recomendación para futuras investigaciones a nivel de laboratorio usar cantidades de quitosano comercial menores a 2.5g para probar varios tratamientos.

Se recomienda realizar tratamientos en cantidades en el rango de 0.5g hasta 2.5g de quitosano comercial en el punto RMoch6 del río Moche para remover metales pesados, coliformes termotolerantes, parámetros de campo y compararlos con ECA, cat.3 y D.S. N°031-2010-SA antes y después del tratamiento.

También sería recomendable que el investigador realice experimentos con otros factores como pH y temperatura y usar la ANOVA para ver los efectos de estos en la remoción de metales y la capacidad de adsorción.

En lo que respecta a las isoterms de adsorción el investigador puede probar otros modelos como Flory-Huggins y modelos cinéticos.

Fundamentación de la Propuesta

Actualmente, la ciudad de Trujillo cuenta con un sistema de tratamiento de agua potable que utiliza técnicas como desarena-do, coagulación, filtración de grava y cloración para limpiar las aguas del río Santa captadas del canal madre CHAVIMOCHIC (Gorell, 2017). Aunque el agua del río Moche podría ser utilizada para la agricultura o consumo humano, los resultados de la presente investigación indican que presenta concentraciones de metales pesados que exceden los estándares de calidad del agua (categoría 3) y de agua potable, tal como lo describe Loyaga (2021) para el aluminio, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc. Por tanto, el agua del río Moche no puede utilizarse directamente para riego o consumo humano, sino que es necesario someterla a un tratamiento previo. Cabe destacar que la coagulación con productos químicos como el cloruro férrico o el alumbre, por sí sola, no resulta efectiva para remover metales pesados, aunque sí ayuda a mejorar el color y la turbidez del agua (Dos Santos, 2018).

En este estudio de investigación se exploró el uso del quitosano, un biopolímero natural, como un adsorbente de metales pesados. Además, se demostró que el quitosano cumple una doble función, ya que también ayuda a reducir la turbidez del agua.

Gestión Ambiental en la Minería: Cierre de Pasivos y Tratamiento de Aguas

La prevención de impactos ambientales es fundamental en cualquier actividad industrial, especialmente en la minería. Para evitar la lixiviación de metales en el río Moche, es necesario que las empresas mineras cierren los pasivos ambientales, como se describe en la Guía de Elaboración de Cierre de Minas (2006). Esto implica asegurar la estabilidad física y geoquímica de los pasivos y canalizar el drenaje superficial mediante tuberías o drenes.

En un estudio llevado a cabo en el río Moche, se encontró que el agua en el punto Rmoch6, ubicado en el Puente Concón en el Distrito de Otuzco, tiene una coloración anaranjada y contiene metales pesados que exceden los ECA, cat.3. Aunque a lo largo del río Moche se detectan metales pesados, es posible captar el agua para su uso como agua de riego, pero se necesita un permiso de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Desde 1950 hasta 2019, el río Moche ha tenido caudales mínimos de 20.8 m³/s hasta 1000m³/s, lo que permite tratar un volumen de 0.5 m³/s a lo largo del río (Honorio, 2020).

Para el tratamiento del agua, se puede utilizar un canal con rejillas para evitar la entrada de materiales grandes, seguido de un medidor de caudal o medidor parshall y un tanque de ecualización de 1m³ para estabilizar el flujo (Quispe, 2021). Posteriormente, se puede agregar un adsorbente en polvo del biopolímero natural quitosano en un tanque de agitación. Finalmente, el agua

tratada puede utilizarse para riego y bebida de animales o someterse a tratamientos terciarios, como la osmosis inversa o la ultrafiltración, para obtener agua potable sin la presencia de iones metálicos.

Estrategias de implementación de la propuesta

El río Moche es utilizado en el sector agrícola como fuente de riego en el valle de Moche, el cual cuenta con suelos arenosos limosos adecuados para la agricultura (Vargas, 2015). A pesar de que la calidad del agua no cumple con el estándar de calidad de agua, categoría 3, los cultivos que se consumen en la sociedad de Trujillo se riegan con este recurso. Los meses de mayor caudal de agua son de enero a abril debido a las precipitaciones, y el agua se puede almacenar en reservorios para la época seca. La Junta de Usuarios de Agua de la cuenca del río Moche puede identificar la zona donde se realizará el proyecto de tratamiento de agua del río Moche teniendo en cuenta la topografía de la zona y mediante canales de conducción y distribución. Todos los usuarios deben ser reconocidos por la autoridad local del agua.

Para el tratamiento de agua del río Moche para el riego de cultivos, se requiere un expediente técnico del proyecto y la solicitud de los permisos correspondientes al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) y al SENACE para obtener la certificación ambiental (R.M. 0141-2022-MIDAGRI).

Una vez que se hayan aprobado todos los permisos correspondientes, se iniciará la construcción de la infraestructura para

el tratamiento del agua del río Moche. En primer lugar, se construirá la captación de agua mediante canales, teniendo en cuenta la medición del flujo volumétrico. El agua entrará en un tanque ecualizador y luego en un tanque de agitación, donde se llevará a cabo el proceso de adsorción. El agua tratada será conducida mediante canales, donde existe una comisión de regantes que tienen sus propias normas de manejo del agua, en cuanto a la cantidad de hectáreas y el tiempo de riego. Para esto, se requerirá personal capacitado en la planta de tratamiento de agua del río Moche para el agua de riego.

Evaluación de la propuesta

Sostenibilidad Económica:

Cálculo Económico para tratar 1.0 m³ de agua del río Moche:

Tanque de agitación de acero al carbono (motor hélice) instalado: \$4000

Tabla 14. Especificaciones de Tanque de Agitación.

Modelo	Volumen m3	Impulsor		Motor		Peso kg
		Revoluciones rpm	Diámetro mm	Modelo	Potencia kW	
GBJ-1500 ×1500	1.0	320	420	Y132M2-6	5,5	1107

Fuente: Qixia Dali Mine Machinery co.,Ltd

Cantidad de quitosano: 2.5 kg

Precio quitosano: \$15.5/kg

Agua Tratada: 1000 L

Costo total inversión: \$4038.7

Solo se realizó una estimación del tanque de agitación para el tratamiento de adsorción del quitosano, ya que los cálculos de canales de captación y distribución podrían ser producto de otra investigación.

El financiamiento económico debería ser realizado por la Junta de usuarios de la cuenca del río Moche o mediante una entidad privada considerando su construcción, operación y mantenimiento.

Sostenibilidad Social

Para llevar a cabo esta propuesta de proyecto, es fundamental contar con la participación de los agentes involucrados, como

la Junta de Usuarios, las autoridades competentes y la población de Trujillo.

Una vez obtenida la certificación ambiental, se debe implementar el proceso de participación ciudadana para que la población pueda conocer las actividades proyectadas y aportar sus opiniones y observaciones. Según la categoría asignada, se realizarán talleres participativos o audiencias públicas, tal como lo indica la R.M. 0141-2022-MIDAGRI.

Una oportunidad que este proyecto brinda es la formalización de los regantes informales, lo que permitirá disminuir la segregación social en la zona. Asimismo, al utilizar agua del río Moche para regar cultivos de consumo humano directo, se puede producir el efecto acumulativo de metales pesados en el organismo, lo que puede afectar especialmente a niños y adultos mayores. Este proyecto contribuirá a reducir enfermedades en la población que posiblemente estén relacionadas con el consumo de cultivos contaminados con metales pesados.

Sostenibilidad Ambiental

El proyecto se centra en el uso del biopolímero quitosano, obtenido de residuos de crustáceos, para fomentar la economía circular. Al regar los cultivos con agua tratada que cumple con las normas ECA, cat.3, se puede reducir el riesgo de enfermedades en la población y la acumulación de metales pesados en los suelos.

Es importante tener en cuenta que los lodos residuales del tanque de agitación deben ser eliminados de acuerdo con la Ley General de Residuos Sólidos 27314. Además, la gestión sostenible de los recursos naturales, como agua, suelo y cultivos, planificada por la Junta de Usuarios, puede contribuir a la mitigación del cambio climático.

Referencias

- Acosta, A. (2018). *Efecto del tiempo de agitación y dosis entre coagulantes de exoesqueleto de camarón y chatarra de hierro en la remoción de turbiedad del Río Santa* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34972>
- Administración Local del Agua Moche Virú Chao. (2020). Informe Técnico N° 034-2020-ANA.AAA.HCH-AT/OEAU. Resultado del monitoreo 2020 de la calidad del agua superficial en la cuenca río Moche. *Gobierno del Perú*.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. (2008). *Toxicological profile for aluminum*. <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=191&tid=34>
- Ahamed, M. (2021). *Water Pollution and Remediation: Heavy Metals*. Springer.
- Ahmed, A.M., Ayad, M.I., Eledkawy, M.A., Darweesh, M.A., Elmelegy, E.M. (2021). Removal of iron, zinc, and nickel-ions using nano bentonite and its applications on power station wastewater. *Heliyon*, 7(2), e06315. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06315>.
- Alexandru, A. (2013). *Advanced Distillation Technologies Design, Control and Applications*. John Wiley and Sons Ltd.
- Alminagorta, E. (2018). *Evaluación de bioacumulación de metales pesados en el pez bagre (rhamdia quelen) en el río Urubamba del centro poblado de Uritúyoc en el distrito de Marcas* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2436>
- Álvarez, A., Blanco González, V., Benavente Silva, M. (2020). Estudio comparativo de la adsorción de aluminio de disoluciones acuosas usando quitosano y cascarilla de arroz. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 36(2). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/view/45496>

- Alvino Justo, E., y Valle, F. (2019). *Incremento de la recuperación de cobre a partir de minerales polimetálicos en la Unidad Minera Cerro Lindo – Nexa Resources* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5507>
- Aponte, W. (2020). *Neutralización y coagulación del efluente ácido de mina para la precipitación de metales totales en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A.* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6382>
- Benigno, F. (2021). Predicción de drenaje ácido de mina, jales de la mina la prieta, Chihuahua, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(4), 825–834. <https://doi.org/10.20937/rica.53523>
- Berrocal, J. (2019). *Adsorción de iones de plomo empleando quitosano para el tratamiento de aguas contaminadas de la cuenca baja del Río Chillón* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur] Repositorio Institucional <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/128>
- Cercedo, C. (2018). *Uso del quitosano comercial y el obtenido de pluma de pota (Dosidicus gigas) para la adsorción de cobre (Cu) en aguas contaminadas de la Cuenca Baja del Río Chillón a nivel laboratorio, Lima 2018* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.12692/18460>
- Cueto, J. (2022, 23 de agosto). La histórica sequía que sufre el río Yangtsé en China (y cómo afecta a la economía global). *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-62632363>
- Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros. (2006). Guía para la elaboración de planes de cierre de minas. *Gobierno del Perú*. https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/guia_cierre.pdf

- Disalvo, L. (2022). *Relación entre el estado nutricional de hierro y los niveles de plomo en sangre en niños* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio Institucional <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/138965>
- dos Santos, J., Teresinha Veit, M., Trevisani Juchen, P., & da Cunha Gonçalves, G. (2018). Use of different coagulants for cassava processing wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 1821–1827. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.02.0>
- Duong, D. Do. (1998). *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics*. Imperial College Press.
- Ferrante, M., Oliveri Conti, G., Rasic-Milutinovic, Z., & Jovanovic, D. (2013). Health Effects of Metals and Related Substances in Drinking Water: Research Report Series. *IWA Publishing*, 12. <https://doi.org/10.2166/9781780405988>
- Fuentes, A. (2021). *Propuesta para el aprovechamiento de escamas de pescado aplicado a la producción de papel de quitosano por el método de desacetilación de quitina en medio alcalino* [Proyecto integral de grado. Fundación Universidad de América]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8675>
- Gobierno Regional La Libertad. (2017). *Sistema de tratamiento de agua potable de Trujillo* [Folleto]. <http://www.chavimochic.gob.pe/images/boletines/ptap.pdf>
- Gobierno Regional La Libertad. (2020). Informe de estimación del riesgo por peligro inminente ante contaminación de las aguas superficiales del río Moche. *Gobierno del Perú*.
- Gomes, A., & Rohden, J. (2018, 8 de noviembre). Minas Gerais, Brasil. Un crimen que se renueva: tres años de lodo en Rio Doce. *Presenza*. <https://acortar.link/PPmMgs>

- Hernández, C., Ramírez, V., Martínez, J., Quintero, V., Baez, A., Minuve, J., Rosas, N. (2022). Los metales pesados en la historia de la humanidad, los efectos de la contaminación por metales pesados y los procesos biotecnológicos para su eliminación: el caso de *Bacillus* como bioherramienta para la recuperación de suelos. *Alianzas y tendencias BUAP*, 7(27), 1-68. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/16410>
- Hernández, M., & Claudio, J. (2017). *Tratamiento de agua del río Rímac para consumo humano utilizando el Quitosano como coagulante en época de estiaje* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional <http://hdl.handle.net/20.500.14076/5420>
- Honorio Sánchez, R., & Ramos García, J. (2020). *Estudio de hidráulica fluvial del río Moche tramo puente Quirihuac–puente fierro* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.12759/6885>
- Huaman Torres, L.J. (2019). *Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en la población infantil del centro poblado de Paragsha para determinar la incidencia probable de la exposición ambiental frente a las sustancias producidas por la actividad minera–Distrito de Simón Bolívar- Cerro de Pasco – 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión] Repositorio Institucional <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1663>
- Jacobs, J. (2014). *Acid mine drainage, rock drainage, and acid sulfate soils*. Editorial John Wiley & Sons, Inc
- Kawahara, M. (2005). Effects of aluminum on the nervous system and its possible link with neurodegenerative diseases. *J Alzheimers Dis*, 8(2), 171-82. <https://doi.org/10.3233/jad-2005-8210>
- Khouloud, J., Kamel, E., Mostafa, H., Aboubakr, M., & Mohamed, M. (2021). Data on the fabrication of hybrid Calix [4] arene-modified natural bentonite clay for efficient selective removal of toxic metals from wastewater at room temperatura. *Elsevier Data in Brief*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106799>

- Loyaga, C. (2021). *Calidad del agua de uso agrícola en la cuenca media del río Moche, Perú-2018* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo].
- Luiz Dotto, G., Campana-Filho, S.P. & de Almeida Pinto, L.A. (2017). *Chitosan Based Materials and its Applications*. Bentham Science Publishers.
- Marcelo Bonilla, A., & Ramírez Charatona, E. (2021). *Relación entre los niveles urinarios de cadmio y mercurio y el estado de salud de los pobladores del distrito de Huayhuay provincia de Yauli región Junín-Perú* [Tesis de grado, Universidad María Auxiliadora]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.12970/428>
- Mármol, Z., Páez, G., Rincón M., Araujo, K., Aiello, C., Chandler, C., & Gutiérrez, E. (2011). Quitina y Quitosano polímeros amigables, una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*, 1, 53-58. <https://acortar.link/CZFaTe>
- Ministerio de Energía de Minas. (2006). Guía para la elaboración de planes de cierre de minas. *Gobierno del Perú*.
- Ministerio de Salud [Perú]. (2010). *Decreto Supremo N°031-2010-SA*. <https://acortar.link/qycJdc>
- Ministerio del Ambiente [Perú]. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM*. 2017. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>
- Mondragón Rivera, C. (2018). *Efecto del pH en la biosorción de metales pesados (Pb+1, Cu+2, Cd+2) en solución acuosa mediante los xantatos sintetizados a partir de desechos de casaca de naranja* [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional <http://hdl.handle.net/20.500.11799/95078>

- Moore, J.W., & Ramamoorthy, S. (1984). *Heavy Metals in Natural Waters Applied Monitoring and Impact Assessment*. Springer-Verlag.
- Motoyuki Suzuki. (1990). *Adsorption Engineering*. Kodansha LTD, Tokyo and Elsevier Science Published.
- National Research Council. (2005). Mineral Tolerance of Animals: Second Revised. *The National Academies Press*.
- Nozipho, M. (2022). Adsorption of heavy metals from acid mine drainage using poly (hydroxamic acid) ligand. *South African Journal of Chemical Engineering*, 42, 318-336. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.09.007>
- Olmo, S. (2020). *Nanomateriales dirigidos al sistema nervioso central (SNC). contribución de la nanotecnología al desarrollo de sistemas de administración de fármacos al cerebro* [Trabajo de fin de grado, Universidad de Cantabria]. Repositorio Institucional <http://hdl.handle.net/10902/19450>
- Olórtogui, C. (2022). *Evaluación de riesgos a la salud por exposición a suelo agrícola con metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) en Carapongo, Lurigancho-Chosica* [Tesis de posgrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5597>
- Palacio, W. (2018). *Evaluación de la efectividad del quitosano como remove-dor de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario del Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK]. Repositorio Institucional <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2890>
- Panyuan, L., Wang, Z., Qiao, Z., Yanni, L., Xiaochang, C., Wen, L., Jixiao, W., Shichang, W. (2015). Recent developments in membranes for efficient Hydrogen purification. *Journal of Membrane Science*, 495, 130-168. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2015.08.010>

- Pauca, Y. (2022). *Determinación de la calidad del agua para consumo humano en el distrito de Urasqui, anexo de Secocha-Camaná 2022* [Tesis de grado. Universidad privada Autónoma del Sur]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/11537/32458>
- Pérez, V. (2019). Biodisponibilidad y acumulación de plomo y cobre en prosopis laevigata establecida en residuos mineros de Zimapán, Hidalgo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(2). <https://doi.org/10.19136/era.a7n2.2311>
- Ping, W. (2022). Metal(loid)s removal by zeolite-supported iron particles from mine contaminated groundwater: Performance and mechanistic insights. *Elsevier Environmental Pollution*, 313. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120155>
- Polanco, D. (2018). *Evaluación del sistema de tratamiento para reducción de hierro y manganeso en la planta de potabilización del municipio de Santa Rosa de osos-Antioquia* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD]. Repositorio Institucional <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/20918>
- Pranas, E. (2020). *Sustainable Environmental Protection Technologies Contaminant Biofiltration, Adsorption and Stabilization*. Springer.
- Quevedo, J. (2017). *Determinación de la capacidad de bioadsorción de plomo aprovechando las propiedades del exoesqueleto del camarón en la ciudad de Cuenca en el país de Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14300/7/UPS-CT007025.pdf>
- Quinto, I. (2021). *Nivel de concentración de plomo (pb) y arsénico (as) en el rio cachi y su relación con la salud en los pobladores del distrito de Izcuchaca* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3958>

- Quispe, E. (2021). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales de una lavandería a nivel de laboratorio usando como coagulante-floculante polímeros orgánicos* [Tesis para obtener título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4825>
- Quispe, F. (2021). Evaluación de la actividad sinérgica entre quitosano de pluma de pota (*dosidicus gigas*) y ácido cítrico en el pardeamiento enzimático de la pulpa de chirimoya (*annona cherimola* mill.) *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(3). <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.352>
- Rodríguez Valdivia, M. (2022). Cinética y Mecanismos de Adsorción de Plomo (II) Usando Zeolita Gis-NaP Obtenida a Partir de Residuos de Ladrillo. *Revista Politécnica*, 50(2), 63–70. <https://doi.org/10.33333/rp.vol50n2.07>
- Rodríguez, R. (2019). *Remoción de metales pesados presentes en el drenaje ácido de minería y su impacto ambiental en la comunidad de la cuenca Porcón* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.12952/4197>
- Rosero, C. (2019). *Bioconversión de desechos de crustáceos mediante fermentación láctica y maloláctica para la obtención de quitosano*. Universidad Central del Ecuador.
- Ruthven Douglas, M. (1984). *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. John Wiley & Sons, Inc.
- Sánchez, S. (2021). *Daño tisular, respuesta inmune y tolerancia infecciones en patologías asociadas a la sobrecarga de hierro* [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.14352/11444>

- Sandoval Moreno, A. (coord.). (2018). *Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional De Derechos Humanos. Universidad Nacional Autónoma De México.
- Sanjay, K.S. (2015). *Heavy Metals In Water Presence, Removal and Safety*. The Royal Society of Chemistry.
- Serrano, J. (2020). Review: Chitosan, a versatile biomaterial. State of the art from its obtaining to its multiple applications. *Revista Ingeniería UC*, 27(2).
- Shakeel, A., & Saiqa, I. (2017). *Chitosan. Derivatives, Composites and Applications*. John Wiley & Sons, Inc
- Sreeag, G., Sabu, T., & Pius, A. (2020). *Handbook of Chitin and Chitosan [Volume 1]. Preparation and Properties*. Elsevier.
- Thomas, S. (2019). *Starch, Chitin and Chitosan Based Composites and Nanocomposites*. Springer.
- Vargas, C. (2015). *Gestión integrada del agua de riego en la cuenca baja del río Moche, Trujillo-Perú* [Tesis de Maestría, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/11042/2793>
- Vásquez, A. (2021). *Evaluación del adsorbente sintetizado con nanopartículas de hierro y soportados en celulosa de Moringa oleifera Lam., en el proceso de adsorción de As(V), Cd(II) y Pb(II) en solución acuosa* [Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Repositorio Institucional <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4242222>
- Velasco, J. (2019). Producción de quitosano a partir de desechos de camarón generados del procesamiento industrial. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/10/127.pdf>

- WHO (World Health Organization). (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.). World Health Organization.
- Xue-Fei, S., Jing, Q., Peng-Fei, X., Bei-Bei, G., Chun-Miao, Y., Chao, S., & Shu-Guang, W. (2015). Graphene oxide-silver nanoparticle membrane for biofouling control and water purification. *Chemical Engineering Journal*, 281, 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.059>
- Yáñez Crespo, A. (2019). *Funcionalización y caracterización de derivados de quitosano* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22053>



Religación **Press**

Ideas desde el Sur Global



RELIGACIÓN
CICSHAL

Centro de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades
desde América Latina



Religación
Press

ISBN: 978-9942-642-61-5



9 789942 642615