

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

Removal of heavy metals from the RMoch6 point of the Moche River by means of commercial chitosan biopolymer.

Laura Gutierrez*

Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

* Autor correspondiente: lgutierrez@unitru.edu.pe (L. Gutierrez)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2022.01.15](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2022.01.15)

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es determinar la remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial. Para llevar a cabo la investigación se utilizó el diseño experimental factorial teniendo como variables independientes la cantidad de quitosano y el tiempo de contacto para comparar los resultados de los tratamientos mediante las variables dependientes como el porcentaje de remoción de metales y la capacidad de adsorción. Los resultados de la investigación indican que la variable cantidad de quitosano tiene un efecto significativo en la variable dependiente capacidad de adsorción y se ajustan a las isothermas de Freundlich también tiene un efecto en el porcentaje de remoción de metales para aluminio, arsénico, cobalto, cobre, hierro, plomo y zinc, sin embargo, para el cadmio no tiene un efecto significativo. Los resultados de la investigación confirman que la cantidad de quitosano comercial y tiempo de contacto óptimo para remover el mayor porcentaje de plomo, aluminio y cadmio es de 7,83g, 7,75g y 8,83g y tiempo de 90 min. Con estos tratamientos en el agua del punto RMoch6 la remoción de metales pesados como aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc pueden llegar a cumplir los ECA, cat.3.

Palabras clave: quitosano; biopolímero; capacidad de adsorción; metales pesados.

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to determine the removal of heavy metals from the RMoch6 point of the Moche river by means of commercial chitosan biopolymer. To carry out the investigation, the factorial experimental design was shown, having as independent variables the amount of chitosan and the contact time to compare the results of the treatments through the dependent variables such as the percentage of metal removal and the adsorption capacity. The results of the investigation indicate that the variable amount of chitosan has a significant effect on the adsorption capacity dependent variable and adjusts sin to the Freundlich isotherms also has an effect on the percentage of metal removal for aluminum, arsenic, cobalt, copper, iron, lead and zinc, however, for cadmium it does not have a significant effect. The results of the investigation confirm that the amount of commercial chitosan and optimal contact time to remove the highest percentage of lead, aluminum and cadmium is 7.83g, 7.75g and 8.83g and a time of 90 min. With these treatments in the water of the RMoch6 point, the removal of heavy metals such as aluminum, arsenic, cadmium, copper, iron, lead and zinc can meet the ECA, cat.3.

Keywords: chitosan; biopolymer; adsorption capacity; heavy metals.

1. INTRODUCCIÓN

Gómez (2018) nos dice que en el mundo entero los ríos cumplen un papel muy importante para los ecosistemas y los ciclos del agua sin embargo existen ríos que transportan sustancias con contenido de aguas residuales industriales y urbanas entre estos parámetros tenemos metales pesados, coliformes fecales y otras bacterias debido a una mala gestión de residuos sólidos de las empresas y los estados. De la misma manera Londoño (2016) argumenta que la minería, uso de fertilizantes químicos y otras actividades contribuyen al aumento de los metales pesados como plomo, cadmio, arsénico, cobre, cromo en los ríos.

Según Gobierno Regional La Libertad (2020) dice que en la región La Libertad tenemos el río Moche que 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. 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.

Mero (2019) argumenta que el cadmio al llegar a los ríos se deposita como sedimento y luego puede ser absorbido por animales lo que puede causar daño en riñones, esqueleto y sistema nervioso, del mismo modo Ospina (2021) argumenta que el aluminio en altas concentraciones tiene un potencial de causar riesgo en la salud humana como óseas, anemia y hasta mal de Parkinson, por otro lado, Rodríguez (2016) afirma que el plomo puede causar efectos nocivos en la salud de las personas a nivel celular

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. Chávez (2018), nos dice que el quitosano puede ser obtenido por ejemplo de residuos de crustáceos también Sandoval (2018) afirma que en la costa norte tenemos empresas dedicadas a exportación de langostino, por lo que se genera residuos de exoesqueleto de langostino lo cual es materia prima para producir quitosano comercial y a la vez dar una valorización a estos residuos sólidos.

Shakeel (2017) dice que, en caso de tratamiento de aguas, 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.

Este estudio resume aporte teórico de otros autores, colabora con el incentivo al uso de residuos de crustáceos para dar valor económico y usarlo como adsorbente de metales en agua del río Moche lo cual indirectamente resuelve problemas de salud de las personas y se cumplen las normas de estándar de calidad de aguas superficiales y los resultados darán pie a que se continúen en este campo de investigación de tratamiento de aguas.

El objetivo principal de este trabajo es determinar la remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se tuvo como objeto de estudio el agua superficial del río Moche en los puntos RMoch6 (coordenadas WGS 84 UTM).

Tabla 1. Punto de monitoreo Río Moche.

Nº	PUNTO DE MONITOREO	DESCRIPCIÓN	ZONA	ESTE	NORTE	ALTITUD (msnm)
1	RMoch6	Río Moche, Puente Con- ción/Distrito Otuzco /Prov. Otuzco/Dpto La Libertad	17L	749580	9114059	820

Nota: Tomado de INFORME TÉCNICO N° 034-2020-ANA.AAA.HCH-AT/OEAU.

El alcance de la investigación es explicativo, ya que pretenden determinar cuáles son los factores significativos que tienen un efecto para remoción y capacidad de adsorción de metales totales en agua el río Moche.

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.

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

2.1. Equipos de laboratorio e instrumentos de medición.

Se determinó en campo la ubicación de los puntos de toma de muestras y posterior monitoreo del agua del río Moche materia de estudio. Para la ubicación se utilizó el equipo modelo etrex marca Garmin con el cual se tomaron las coordenadas UTM en el sistema WGS84.

Los parámetros de laboratorio a medir y registrar son: pH (upH), conductividad eléctrica (uS/cm), temperatura (°C) y turbidez (NTU). Para esto se utilizaron los equipos multiparámetro Thermo Scientific Orion y Turbidímetro Orion AQ3010. La medición de metales pesados totales se realizó con un equipo de espectrofotómetro de masa Perkim Elmer.

El pesado de quitosano comercial se realizó en una balanza analítica BOECO BAS 31 plus, y el tratamiento de muestras se realizó mediante equipo 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.

2.2. Toma de Muestras.

La toma de muestras del río Moche se realizó siguiendo el protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA).

Se tomó muestra de agua en el punto RMoch6 y se realizó utilizando guantes de nitrilo a fin de evitar incidentes en seguridad y salud ocupacional. La toma de muestras se realizó en dirección opuesta al flujo de salida de agua. Las muestras se tomaron con un balde de 20l trasparente limpio con tapa y se trasladó al laboratorio de ingeniería ambiental de la UNT para realizar los respectivos tratamientos con biopolímero quitosano.

Antes de realizar 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 sumergieron el electrodo, dejando estabilizar la lectura y registrando el resultado de la medición. Para la turbidez se agregó la muestra a la celda y se introdujo al equipo y se esperó que indique la lectura. Después de terminar la medición de los parámetros, se enjuagó los electrodos y celdas con la pizeta que contiene agua destilada, luego se secó con un pañito adsorbente que no realiza rayaduras y se guardó en su capuchón que contiene una solución salina.

La medición de parámetros de campo se realizó con los equipos multiparámetro Thermo Scientific Orion que mide pH, temperatura, conductividad eléctrica. La turbidez se midió con Turbidímetro Orion AQ3010pH. Los equipos de medición fueron calibrados antes de las mediciones. El equipo para emplear en la determinación de metales pesados fue el espectrofotómetro de masa Perkim Elmer. Los análisis para metales totales fueron realizados por el Laboratorio SGS del Perú, el cual está acreditado por el organismo de acreditación INACAL-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).

Los envases que contuvieron las muestras para la medición de metales pesados fueron de material plástico con capacidad 100ml, debidamente etiquetados en forma clara y cuidadosa; donde se colocó el código descriptivo de cada muestra tomada. El envase con la muestra se llenó dejando aproximadamente el 1% de la capacidad del envase, el cual es un espacio suficiente para añadir el preservante pero lo suficiente para expulsar el aire antes de taponarlo. Además, este espacio es para permitir agitar y homogenizar la muestra. Las muestras para metales totales se preservaron con 10 gotas de ácido nítrico al 50%. Las muestras de agua colectadas, envasada, preservadas y rotuladas se colocaron en un cooler refrigerado (ice pack), de tal manera que asegure su llegada al laboratorio en condiciones de conservación. No pasó más de tres días desde la preservación de la muestra para realizar la determinación de metales pesados en laboratorio.

2.3. Experimentos de Remoción/Adsorción.

Se pesó varias masas de quitosano comercial (10, 5 y 2,5g) en una balanza analítica BOECO BAS 31 plus, luego se añadió 1000ml de agua río Moche y se dejó en contacto por 30, 60 y 90 minutos mediante agitación de 150rpm a temperatura ambiente con equipo prueba de jarras Ken Satlerwhite Special 50 Edition. Luego se tomaron las muestras de agua tratada para medir pH, temperatura, conductividad eléctrica, turbidez, análisis de metales totales explicados anteriormente.

2.4. Diseño Estadístico del Experimento.

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

En este experimento se quiere ver una relación de tres tipos de concentraciones y tres tiempos en la concentración de metales pesados que tiene el agua de río Moche. Tenemos un modelo con dos factores: concentración y tiempo. La variable que se va a medir es la concentración de metales totales. En total 9 tratamientos.

Tabla 2. Tratamientos con Quitosano RMoch6.

Tratamiento/ Metales	Tiempo(min)								
	90			60			30		
	10g	5g	2,5g	10g	5g	2,5g	10g	5g	2,5g
Al	%R1	%R2	%R3	%R4	%R5	%R6	%R7	%R8	%R9

Tratamiento/ Metales	Tiempo(min)					
	90		60		30	
	10g	5g	2,5g	10g	5g	2,5g
As						
Cd						
...						
Zn						

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.

Determinación de %Remoción de metales totales y capacidad de adsorción (q_e): Se encuentran en las ecuaciones 1 y 3.

$$\%R = \left(\frac{C_f - C_0}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{m} \quad (2)$$

Confiability: 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 STATGRAPHICS Centurion 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.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de Objetivo General: Determinar la remoción de metales pesados del punto RMoch6 del río Moche mediante biopolímero quitosano comercial.

Tabla 3. Tratamientos con diferentes cantidades de quitosano comercial y tiempos de contacto para la remoción de metales pesados en el punto RMoch6 el río Moche.

Metales totales	Unidad	RMoch 6	90 min			60 min			30 min		
			%Rem	%Rem	%Rem	%Rem	%Rem	%Rem	%Rem	%Rem	%Rem
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
		10g	5g	2,5g	10g	5g	2,5g	10g	5g	2,5g	
Aluminio Total	mg/l	4,623	95,28	92,99	88,64	87,65	87,37	85,03	84,25	92,21	84,08
Arsénico Total	mg/l	0,34051	94,05	90,62	85,67	85,89	79,62	78,95	92,4	92,04	71,62
Cadmio Total	mg/l	0,03651	96,6	92,11	82,22	94,85	89,98	76,97	94,03	89,4	75,02
Cobre Total	mg/l	2,18893	98,3	97,43	97,09	97,59	94,75	95,77	97,5	97,11	93,22
Hierro Total	mg/l	23,7286	94,06	90	85,25	86,13	79,44	77,93	91,57	92,16	71,85
Plomo Total	mg/l	0,0288	95,49	91,32	86,81	88,19	81,6	78,47	92,36	93,75	75,69
Zinc Total	mg/l	4,268	93,36	84,94	66,54	89,04	81,49	59,89	87,88	81,51	59,88

En la tabla podemos determinar que el aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc remueven más del 90% para el tratamiento de masa de 10g y tiempo de 90min.

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/1l, 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.

3.2. Resultados del 1° Objetivo Específico: Determinar las concentraciones de metales pesados y parámetros de campo en los puntos RMoCh6 antes y después de los tratamientos con biopolímero quitosano comercial 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).

Tabla 4. Metales totales RMoCh6 con tratamiento de quitosano y tiempo de contacto de 90min.

Metales totales	Unidad	RMoch6 Sin trata- miento	D.S. N°031- 2010-SA	ECA, cat.3	RMoch6-4 (10g/1000m l)	RMoch6-5 (5g/1000ml)	RMoch6-6 (2,5g/1000ml)
Aluminio Total	mg/l	4,623	0,2	5	0,218	0,324	0,525
Arsénico Total	mg/l	0,34051	0,010	0,1	0,02025	0,03193	0,04880
Cadmio Total	mg/l	0,03651	0,003	0,01	0,00124	0,00288	0,00649
Cobre Total	mg/l	2,18893	2,0	0,2	0,03726	0,05632	0,06376
Hierro Total	mg/l	23,7286	0,3	5	1,4102	2,3723	3,5007
Plomo Total	mg/l	0,0288	0,010	0,05	0,0013	0,0025	0,0038
Zinc Total	mg/l	4,2680	3,0	2	0,2832	0,6429	1,4282

Nota: 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.

Los análisis de metales totales del punto RMoCh6 mostraron que el arsénico, cobre, fierro y zinc total exceden los estándares de calidad de agua, categoría 3.

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 (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.

3.3. Resultados del 2° 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.

Tabla 5. Capacidad de adsorción en equilibrio de metales totales. (Tiempo de contacto 90min).

Metales totales	Unidad	RMoch 6 Sin trata- miento	RMoch6 -4 (10g/1000m l)	RMoch6 -5 (5g/1000ml)	RMoch6 -6 (2,5g/1000 ml)	qe (sol./10g) (mg/g)	qe (sol./5g) (mg/g)	qe (sol./2.5g) (mg/g)
Aluminio Total	mg/l	4,623	0,218	0,324	0,525	0,4405	0,8598	1,6392

Metales totales	Unidad	RMoch 6	RMoch6 -4	RMoch6 -5	RMoch6 -6	qe (sol./10g)	qe (sol./5g)	qe (sol./2.5g)
		Sin tratamiento	(10g/1000ml)	(5g/1000ml)	(2,5g/1000ml)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)
Arsénico Total	mg/l	0,34051	0,02025	0,03193	0,0488	0,032026	0,061716	0,116684
Cadmio Total	mg/l	0,03651	0,00124	0,00288	0,00649	0,003527	0,006726	0,012008
Cobre Total	mg/l	2,18893	0,03726	0,05632	0,06376	0,215167	0,426522	0,850068
Hierro Total	mg/l	23,72 86	1,4102	2,3723	3,5007	2,23184	4,27126	8,09116
Plomo Total	mg/l	0,028 8	0,0013	0,0025	0,0038	0,00275	0,00526	0,01
Zinc Total	mg/l	4,268	0,2832	0,6429	1,4282	0,39848	0,72502	1,13592

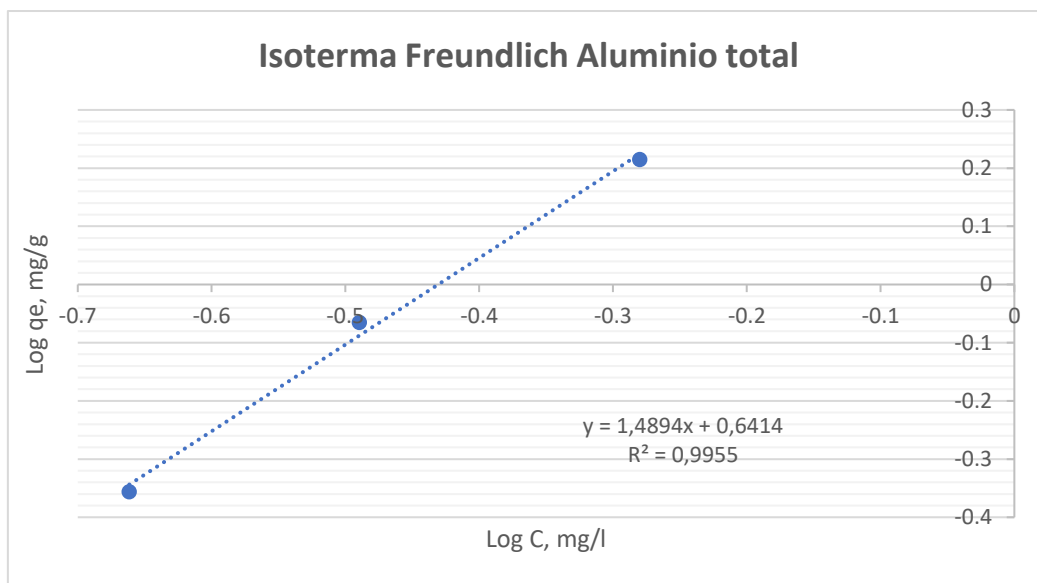


Figura 1. Isoterma Freundlich para adsorción de Aluminio total mediante adsorbente quitosano comercial.

$$k_F \text{ es la constante de Freundlich } \left(mg^{1-\left(\frac{1}{n}\right)} l^{1/n} g^{-1} \right) \quad k_F = 4,34$$

$$n = 0,67$$

En esta investigación para una cantidad de masa de 10g/11, tiempo de contacto de 60min, se obtuvo una remoción de aluminio de 87,65% y se ajusta a la isoterma de Freundlich, en comparación con el trabajo de investigación de Álvarez (2020) obtuvo una remoción de 95,38% y también se ajusta a la isoterma de Freundlich. Cabe mencionar que Álvarez (2020) tiene una concentración de aluminio inicial de 50mg/l, mientras que en esta investigación fue de 4,628mg/l.

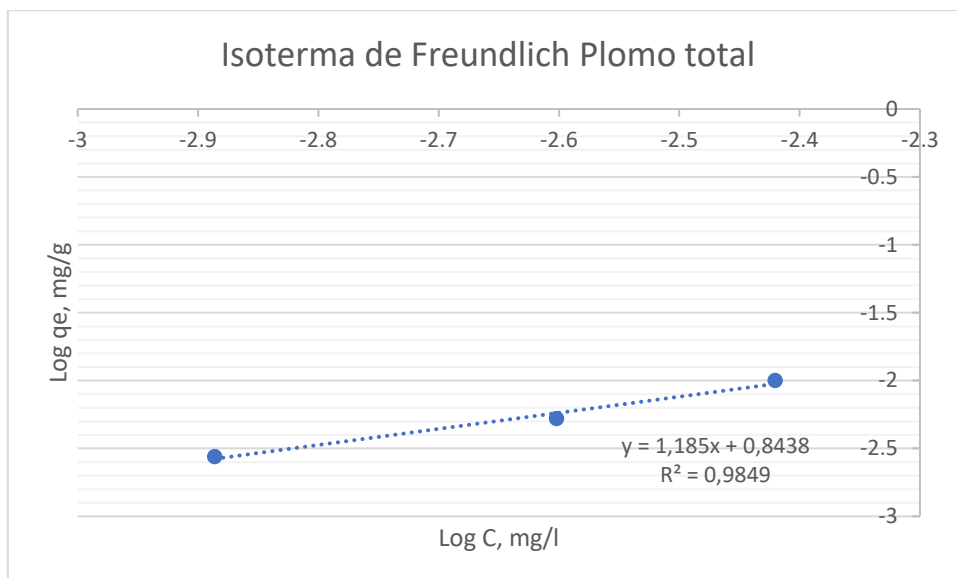


Figura 2. Isoterma Freundlich para adsorción de Plomo total mediante adsorbente quitosano comercial.

k_F es la constante de Freundlich ($mg^{1-(\frac{1}{n})}l^{1/n}g^{-1}$) $k_F = 6,98$

$$n = 0,84$$

En esta investigación para una masa de 2,5g/1l, tiempo de contacto de 90 minutos se obtuvo una remoción de plomo de 86,81% y se ajusta a la isoterma de Freundlich, lo cual no coincide con la investigación de Quevedo (2017), en el cual se obtuvo una remoción de 74,38% y se ajusta a la isoterma de Lagmuir.

Resultados del 3° Objetivo Específico: 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.

Tabla 6. Optimizar Respuesta. Meta: maximizar Aluminio (Al).

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Masa	2,5	10	7,75
Tiempo	30	90	90

Valor óptimo = 96,47

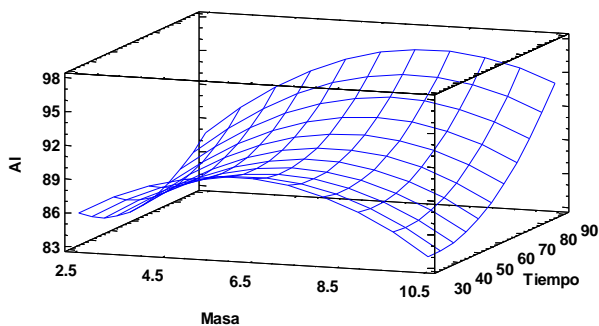


Figura 3. Superficie %Remoción Al vs Masa. Tiempo

Tabla 7. Optimizar Respuesta. Meta: maximizar Cadmio (Cd).

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Masa	2.5	10	8,11
Tiempo	30	90	90

Valor óptimo = 98,35

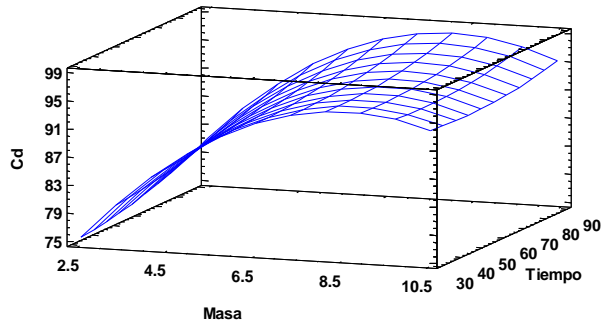


Figura 4. Superficie %Remoción Cd vs Masa. Tiempo

Tabla 8. Optimizar Respuesta. Meta: maximizar (Pb)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Masa	2,5	10	7,83
Tiempo	30	90	90

Valor óptimo = 96,33

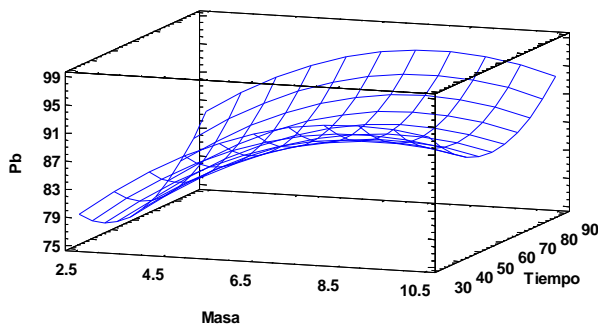


Figura 5. Superficie %Remoción Pb vs Masa. Tiempo

4. CONCLUSIONES

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.

Los resultados de la investigación confirman que las concentraciones de metales pesados en el punto RMoch6 exceden el estándar de calidad de agua, categoría 3 para arsénico, cobre, fierro y zinc. 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, zinc. 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.

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 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 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 plomo, aluminio y cadmio es de 7,83g, 7,75g y 8,83g y tiempo de 90 min.

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 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 Lagmuir.

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 isotermas de adsorción el investigador puede probar otros modelos como Flory-Huggins y modelos cinéticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. 121.
- Álvarez, A. 2020. Estudio comparativo de la adsorción de aluminio de disoluciones acuosas usando quitosano y cascarilla de arroz. *Ciencia y tecnología*, 36(2):27-28.
- 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 grado, Facultad de Ingeniería y Gestión, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. 2017. Ministerio del Ambiente. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Diario oficial El Peruano, 8 de junio de 2017.
- Decreto Supremo N°031-2010-SA. 2010. Dirección General de Salud Ambiental. Ministerio de Salud. Lima-Perú. Reglamento de la calidad del Agua para consumo Humano. Diario oficial El Peruano, 26 de setiembre de 2010.
- Chávez, A. 2018. Obtención y caracterización de quitosano entrecruzado con ácido nítrico. *Revista Iberoamericana de polímeros y materiales*. 19(5):227-235.
- 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. 151.
- Gómez, O. 2018. Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista de la Facultad de medicina*. 66(1): 7-8. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>.
- Londoño, L. 2016. Riesgos de metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 14(2):145-153.
- Mero, M. 2019. Concentración de cadmio en agua, sedimentos, *Eichhornia crassipes* y *Pomacea canaliculata* en el río Guayas (Ecuador) y sus afluentes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.35(2): 623-640. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.03.09

- Ospina, O. 2021. Evaluación de la contaminación por aluminio del agua para consumo humano, región central de Colombia. *Revista INGE CUC*. 17(2): 2-8
- Palacios, W. 2018. Evaluación de la efectividad del quitosano como removedor de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario del Canton Mejía, Pichincha, Ecuador. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias naturales y ambientales, Universidad Internacional Sek.
- 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, Facultad de Ingeniería en biotecnología de los recursos naturales, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Rodríguez, A. 2016. Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones biomédicas*. 35(3):251-271.
- Sandoval, H. 2018. Obtención de quitosano mediante el método de desacetilación a partir de exoesqueletos de langostino de cultivo “*Penaeus vannamei*”. Tesis de grado, Facultad de ingeniería industrial. Universidad Nacional de Piura.
- Shakeel, A. 2017. *Chitosan. Derivatives, Composites and Applications*. Editorial John Wiley & Sons, Inc. p.97 Hoboken, NJ, USA, 516.