

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:
**“QUITOSANO COMO SUSTITUTO BIODEGRADABLE DE RESINAS DE
INTERCAMBIO IÓNICO PARA DISMINUIR LA DUREZA Y ALCALINIDAD DEL
AGUA DEL RÍO MONJAS”**

Realizado por:

DAYRA PAOLA FARINANGO DUEÑAS

Director del proyecto:

MSc. Emma Ivonne Carrillo Paredes

Como requisito para la obtención del título de:

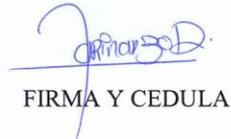
INGENIERO AMBIENTAL

Quito, 7 de Febrero del 2018

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, DAYRA PAOLA FARINANGO DUEÑAS, con cédula de identidad #1723354088, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.


FIRMA Y CEDULA

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“QUITOSANO COMO SUSTITUTO BIODEGRADABLE DE RESINAS DE
INTERCAMBIO IÓNICO PARA DISMINUIR LA DUREZA Y ALCALINDAD
DE AGUA DEL RÍO MONJAS”**

Realizado por:

DAYRA PAOLA FARINANGO DUEÑAS

Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERÍA AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

MSc. Emma Ivonne Carrillo

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Emma Ivonne Carrillo', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

WALBERTO GALLEGOS

JOHANNA MEDRANO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

DEDICATORIA

A mis padres **Conny y Marcelo**, quienes me prodigan infinito amor día a día.

A mi hermana **Jahelita**, mi eterna amiga y parte esencial en mi vida.

A mi hermano **Henry**, ejemplo de superación y convicción.

A **Tere y Martín** que llegaron en el momento exacto de mi vida para brindarme amor.

AGRADECIMIENTOS

A **mi familia**, por sus consejos, su amor y su apoyo incondicional pese a toda circunstancia, y estar presentes siempre a mi lado.

A **mi directora**, Ivonne Carrillo por ser parte primordial de este trabajo y ayudarme en cada momento cuando lo necesite.

A **mis revisores**, Walberto Gallegos y Johanna Medrano, por sus contribuciones y comentarios que me han ayudado a mejorar este trabajo.

A **mis amigos de laboratorio; y a Jairo**, por su compañía, consejos, y cariño que me brindaron durante las largas jornadas de trabajo de laboratorio.

A **Estefanía Erazo**, quien en el último año de carrera, me impulsó a crecer tanto personal como profesionalmente y demostrarme con su ejemplo que es posible convertir en realidad los sueños.

Para someter a: *Rev. Iberoamericana de Polímeros*
To be submitted: *Rev. Iberoamericana de Polímeros*

“Quitosano como sustituto biodegradable de resinas de intercambio iónico para disminuir la dureza y alcalinidad del agua del Río Monjas”

Dayra Farinango¹ & Emma Carrillo*

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Quito, Ecuador.

* **AUTOR DE CORRESPONDENCIA:** MSc. Ivonne Carrillo, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Quito, Ecuador.

Teléfono: +593-9- 991175933; email: emma.carrillo@uisek.edu.ec

Título corto o Running title: Quitosano como sustituto biodegradable de resinas de intercambio iónico para disminuir la dureza y alcalinidad del agua del río Monjas.

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Área de estudio	11
Diseño de muestreo	12
Diseño experimental	12
<i>Obtención de quitosano</i>	12
<i>Caracterización del quitosano</i>	15
<i>Caracterización de las resinas de intercambio iónico</i>	16
<i>Cálculo de dureza y alcalinidad Total</i>	17
<i>Construcción de filtros empacados de quitosano y resinas de intercambio iónico</i>	17
Resultados y Discusión	18
Conclusiones	30
Recomendaciones	31

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de las aguas por su Dureza Total	5
Tabla 2. Resultados de la caracterización del quitosano	18
Tabla 3. Condiciones iniciales del agua del Río Monjas	19
Tabla 4. Concentración máxima permisible.....	19
Tabla 5. Resultados de Dureza Total	20
Tabla 6. Resultados de Dureza Cálctica.....	22
Tabla 7. Resultados de dureza magnésica.....	23
Tabla 8. Resultados de Alcalinidad total.....	25
Tabla 9. Análisis Kolmogorov-smirnov. Dureza Total.....	26
Tabla 10. Análisis Kolmogorov-smirnov. Dureza Cálctica	27
Tabla 11. Análisis Kolmogorov-smirnov.....	28
Tabla 12. Análisis de costo de los tratamientos	29

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Estructura molecular de la Quitina	8
Gráfico 2. Estructura molecular del Quitosano.....	9
Gráfico 3. Ubicación geográfica del punto de muestreo	12
Gráfico 4. Quitosano.....	14
Gráfico 5. Vista de Quitosano 150 um a) Vista 100X b)Vista 40X	14
Gráfico 6. Filtros empacados de quitosano y resinas de intercambio iónico	18
Gráfico 7. Reducción de la concentración de CaCO ₃ . Dureza Total.	21
Gráfico 8. Reducción de Ca ²⁺ . Dureza Cálctica	23
Gráfico 9. Reducción de Mg ²⁺ . Dureza Magnésica.....	24
Gráfico 10. Reducción de Alcalinidad Total.....	25
Gráfico 11. Rendimiento de los tratamientos.....	30

Resumen

El abastecimiento de agua a nivel industrial, con bajas concentraciones de carbonatos de calcio, es fundamental para evitar incrustaciones en tuberías. Tomando en cuenta la complejidad de los distintos procesos industriales, así como las posibles complicaciones, se ha tratado el agua con resinas de intercambio iónico con el objetivo de ablandar el agua; sin embargo, al ser éstas resinas costosas; surge la iniciativa ¿Existen biopolímeros eficientes y económicamente viables capaces de sustituir a las resinas de intercambio iónico que son empleadas normalmente en el ablandamiento de agua? Utilizando la metodología ya establecida, con base en la desnaturalización de las cáscaras de camarón, el presente proyecto extrajo quitosano, para ser utilizado como una opción biodegradable para el tratamiento del agua. Mediante la aplicación de Standard Methods for the examination of water and wastewater se determinó la dureza total (cálcica y magnésica) y alcalinidad de las muestras de agua. Se construyeron dos clases de filtros; uno empaquetado con quitosano y otro con resinas comerciales; se analizó el agua resultante y se calculó la eficiencia de los filtros. Finalmente, se aportó con un biopolímero el mismo que redujo el 82% de la concentración inicial de CaCO_3 ; el costo de este tratamiento fue de veinticinco centavos aproximadamente para un volumen de 300 mL de la muestra.

Palabras clave: Biopolímero, Ablandador, Secuestrante, Eficiencia, Optimización

Abstract

The supply of water to industrial level, with low concentrations of calcium carbonates, it is essential to avoid buildup in the pipes. Taking into account the complexity of the different industrial processes, as well as possible complications, the water has been treated with ion exchange resins with the objective of softening the water, however, these resins are expensive; then the question arises Are there efficient and economically viable biopolymers capable of replacing the ion exchange resins that are normally used in water softening? Using the methodology already established, based on the denaturation of shrimp shells, this project proposes the extraction of chitosan, as a biodegradable option for water treatment. Chitosan has been described as a linear, biodegradable, high molecular weight, easily applied and environmentally friendly cationic polymer. Through the application of Standard Methods for the examination of water and wastewater was calculated the total hardness (calcium and magnesica) and alkalinity of the water samples. Is recreated two kinds of filters one package with chitosan and another with commercial resins; the resulting water was analyzed and the efficiency of the filters. Finally, it is provided with a biopolymer the same as 82% reduction of the initial concentration of CaCO_3 ; the cost of this treatment was approximately twenty-five cents for a volume of 300 mL of the sample.

Key words: Biopolymer, Stool Softener, Sequestrant, Efficiency, Optimizatio

Introducción

Según el Ministerio del Ambiente (2017), la generación de residuos sólidos urbanos es directamente proporcional con el crecimiento poblacional; hasta el año 2010 se registraron un total de 221 municipios a nivel nacional de los cuales 160 disponían sus residuos en rellenos sanitarios o los conocidos botaderos de basura a cielo abierto. Según el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) en el artículo 55, expresa que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales son los responsables y encargados del correcto manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU); sin embargo, la baja capacidad de gestión es imposible de negar, convirtiéndose la gestión de RSU en un problema ambiental.

Los GADs que se encuentran en la zona costera del país presentan estos problemas ambientales, principalmente por la presencia de industrias que se dedican a la producción y comercio de camarones, ya que los residuos se destinan a los diversos rellenos sanitarios, los mismos que se encuentran saturados. . Las empresas productoras de camarón se encuentran ubicadas en las provincias costeras el país, son las principales productoras de camarón; la provincia de Guayas para el año 2015 representó el 65,23% del total nacional, seguido por la provincia de El Oro con el 19,05%, en tercer lugar la provincia de Manabí con el 8,77%, y finalmente la provincia de Esmeraldas con el 6,94% (Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones - PRO ECUADOR , 2016).

Para el año 2013 Ecuador alcanzó a producir 224,3 mil toneladas de camarón lo que significó 1'818,9 millones de dólares (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2016); influyendo directamente dentro de la economía del país. Según cifras del Banco Central del Ecuador, la industria de acuicultura y pesca de camarón se incrementaron en un 9,3% al año 2017 (Cámara de comercio de Guayaquil, 2017).

Con el procesamiento de camarón se generan residuos, siendo los más comunes “las colas de camarón” o exoesqueleto, el cual resulta de retirar la cutícula quitinosa de la parte considerada comestible del producto; por otro lado la cabeza del camarón conocido como cefalotórax (cabeza-tórax) también es desechado para ser posteriormente utilizado como materia prima para harina de pescado (Restrepo & Guarín, 2004).

Dentro de este contexto es importante resaltar dos inconvenientes ambientales, por un lado se tiene que la generación de residuos, el mismo que se directamente proporcional al crecimiento poblacional, y que actualmente se encuentra afectando en el caso del Ecuador a las provincias costeras, con el saturamiento de los rellenos sanitarios debido a la masiva producción de residuos.

Otro problema ambiental se deriva del uso de resinas de intercambio iónico, que son utilizadas a nivel industrial para el ablandamiento de agua. Ya que el agua que alimentará a los distintos procesos productivos deberá contar con ciertos parámetros de calidad.

Las resinas de intercambio iónico son pequeñas esferas de material sintético o inorgánicas, insolubles en agua, para ser utilizadas para el intercambio de iones en solución acuosa, adsorbiendo y cediendo cantidades equivalentes de otros iones (Equipos y Laboratorio de Colombia, 2017). Sin embargo, estas resinas representan un problema ambiental ya que las industrias que las utilizan no siempre brindan el tratamiento adecuado para la disposición final de las mismas, dando como resultado un residuo difícil de tratar. (Flores , Ortíz, Olguín , Emeterio, & García, 2006).

En general, las industrias requieren un continuo abastecimiento de agua, por lo que se ven en la necesidad de utilizar estas resinas para tratar la dureza, de no ser tratada, se enfrentan al

problema de generación de incrustaciones y corrosión, que disminuyen la vida útil de las tuberías, debido a la elevada concentración de carbonato de calcio (De Sousa, Correia, & Colmenares, 2010).

“Si hay valores bajos de dureza se produce deterioro y corrosión en la red por agua agresiva, pudiendo corregirse añadiendo cloruro cálcico, mientras que si los valores de dureza son elevados se formarán incrustaciones, calcificación de los filtros, agua turbia, etc, y deberá corregirse añadiendo sustancias secuestrantes que mantienen el calcio y el magnesio en disolución” (De Sousa, Correia, & Colmenares, 2010).

Las aguas se pueden clasificar en función al valor de la dureza total ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), como lo indica la siguiente tabla (Millán , Mathison, Alvares, & Jarbough, 2003).

Tabla 1. Clasificación de las aguas por su Dureza Total

Tipo de agua	Ppm CaCO_3
Muy blanda	0-15
Blanda	16-75
Semidura	76-150
Dura	151-300
Muy dura	>300

Fuente: Millán et al. 2003

Es importante mencionar que las empresas que tienen calderos para sus procesos productivos, requieren que el agua que alimenta sus procesos contengan una concentración de 0 ppm de CaCO_3 .

En la actualidad existen varios tratamientos químicos que se han comprobado exitosos para la disminución de dureza y alcalinidad del agua. Según Miñana (2002), la ósmosis inversa así

como el tratamiento común de intercambio iónico mediante el uso de resinas, son los tratamientos más importantes. A continuación se detallan estos tratamientos.

Dentro del empleo de resinas de intercambio iónico, Miñana (2002) menciona, que se utilizan ciertos tipos de resinas la cuales adsorben iones determinados que son reemplazados por otros de interés. Por otro lado, las resinas más utilizadas con las zeolitas naturales (silicatos de aluminio y sodio), por lo tanto, el ablandamiento (disminución de la dureza del agua) se produce cuando existe el intercambio de los iones de calcio y magnesio por iones de sodio.

Industrialmente para el proceso de ablandamiento de agua, suele utilizarse un equipo conocido como ablandador de agua, el cual se encuentra formado por un lecho en el que se ubican las resinas, y luego se hace circular el agua a ser tratada. Los iones de calcio y de magnesio son reemplazados por iones de sodio o potasio, de esta manera se realiza el ablandamiento del agua. Sin embargo, luego de un tiempo las resinas se saturan de calcio y magnesio y dejan de realizar su función de intercambiadores iónicos, por lo que se debe dar (en algunos casos), una retro-limpieza, utilizando reactivos químicos que reaccionen con los iones que saturan la resina. Estos equipos resultan ser costosos dependiendo del caudal de agua que se necesita, el contenido de CaCO_3 , así como del material que se requiera para el ablandador (Cervantes, 2015).

Dentro de este contexto existen dos clases de resinas de intercambio iónico, siendo éstas las resinas aniónicas y catiónicas.

Intercambio de cationes.- Comúnmente conocido como intercambio catiónico o intercambio básico, consiste en el desplazamiento de un ion positivo, o catión, por otro ion positivo” (Pérez, 2015).” Por lo tanto este proceso sustituye los iones calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+}

por otros iones que no contribuyen a la dureza como lo son el ion sodio Na^+ y el ion potasio K^+ ” (Castro, Juan Cristóbal, 2011).

Intercambio de aniones.- Comúnmente conocido como intercambio aniónico, o intercambio ácido, consiste en el desplazamiento de un ion negativo, o anión, por otro ion negativo. “En aguas naturales, dichos aniones son comúnmente cloruros, sulfatos, nitratos, carbonatos, hidróxidos y fluoruros” (Pérez, 2015).

Otro método que se emplea, es la osmosis inversa, la cual se basa en el uso de una membrana semipermeable. En este proceso el agua pasa a presión a través de la membrana provocando que los materiales disueltos se queden atrás; esto asegura que exista un gradiente de concentración, es decir el líquido concentrado pasará por la membrana. “Mediante esta técnica se eliminan el calcio y el magnesio en un 94-98%, el sodio en un 87-93% y los nitratos en un 60-75%. Pero también se eliminan los iones cloruro y fluoruro (87- 93%), así como algunos metales como hierro y manganeso” (Miñana, 2002).

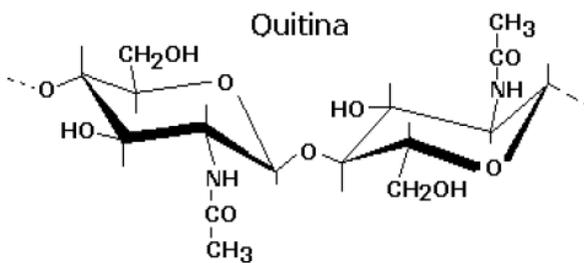
Sin embargo, se han descrito nuevas formas de ablandar el agua, como por ejemplo la utilización de biopolímeros como es el caso del quitosano; éste polímero natural se obtiene a partir de la quitina, y constituye un biopolímero muy abundante en la naturaleza, ya que se encuentra principalmente en el exoesqueleto de los artrópodos (crustáceos, insectos, arácnidos) así como en las paredes de algunos hongos) (Tafur & Quevedo, 2014).

Según (Richard, Meanwell, & Shama, 2006) en (Sastoque, Mercado, Martínez, Quevedo , & Pedroza, 2007) la quitina es el segundo biopolímero más abundante en la naturaleza, después de la celulosa, por lo tanto sus derivados han recibido atención por las posibles aplicaciones y utilidades. Recientemente se demostró que los oligómeros de quitina y de quitosano cuentan con

importantes características antibacterianas, antifúngicas así como inmunoreguladoras (Sastoque, Mercado, Martínez, Quevedo , & Pedroza, 2007). Sin embargo, desde el aspecto ambiental éste polímero ha sido empleado para remover metales pesados ya que actúa como agente quelante y también para eliminar colorantes (Blackburn, 2004).

La quitina, $\beta(1-4)$ -2-acetamido-2-desoxi-D-glucosa se encuentra principalmente en las conchas de crustáceos y otros como se revisó anteriormente (Lárez, 2003).

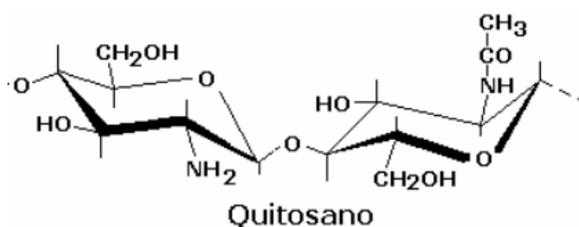
Gráfico 1. Estructura molecular de la Quitina



Fuente: Lárez, 2003

En este contexto, el quitosano es la forma N-desacetilada de la quitina, “es una modificación de la quitina y posee mejores propiedades de reactividad y solubilidad. Se obtiene al sustituir los grupos acetamido por grupos amino [...]. Se ha descrito como un polímero catiónico lineal, biodegradable, de alto peso molecular, de fácil aplicación y ambientalmente amigable” (Mármol, y otros, 2011). A continuación se presentan las características más importantes del quitosano.

Gráfico 2. Estructura molecular del Quitosano



Fuente: Lárez, 2006

Grado de desacetilación (GD).- permite básicamente diferenciar el quitosano de la quitina así como también “determina las propiedades químicas, físicas y biológicas del quitosano”, este parámetro refleja el balance entre las unidades respectivas 2-Acetilamina-2-desoxi- β -D-(+)-Glucopiranososa y el 2-amino-2-desoxi- β -D-Glucopiranososa [...]. Normalmente el quitosano comercial cuenta con un grado de Desacetilación del 70 al 90% (Giraldo, 2015).

Peso molecular y viscosidad.- El quitosano “tiene una amplia gama de viscosidades en los medios ácidos diluidos que dependen principalmente del peso molecular, el cual es reducido en comparación a la quitina. Debido a su alta viscosidad, que se asemeja a la de las gomas naturales, el quitosano puede ser utilizado como espesante, estabilizante o agente de dispersión” (Nieto & Orellana, 2011).

Por otro lado, “al conocer el peso molecular y la conformación de las moléculas del biopolímero, se puede estimar una gran cantidad de propiedades mecánicas y reológicas como por ejemplo su coeficiente de fricción y de sedimentación” (Giraldo, 2015).

Solubilidad.- “depende del grado de acetilación y está controlado por las interacciones moleculares con el grupo N-acetil y por las propiedades hidrofílicas de la glucosamina libre. Normalmente es soluble a pH menores que 6 o 5,5. En un quitosano parcialmente desacetilado sus

grupos polares, tales como C=O y – NH, pueden formar enlaces de hidrógeno con el solvente” (Muzzarelli, 1985) en (Luna, 2012).

Interacción con iones metálicos.- La capacidad que tienen el quitosano para adsorber metales que se encuentran presentes en medios acuosos, depende directamente de las características físicas, así como de los aspectos mecánicos determinantes del quitosano.

Rinaudo (2006) menciona que el quitosano es conocido por actuar como quelante para los metales, esta característica dependerá del estado en que este se encuentre (polvo, gel, fibra o como película), dando mejores resultados a mayor grado de desacetilación de la quitina (Rinaudo, 2006).

Dentro de este contexto se puede mencionar que gracias a las características fisicoquímicas con las que el quitosano cuenta, puede colaborar en la formación de complejos, el cual se define como “una molécula formada por un ion o átomo central rodeado por un conjunto de ligantes, donde el ligante o ligando es cualquier átomo o molécula capaz de actuar como donante en uno o más enlaces coordinados y puede existir independientemente” (Shivar & Atkins, 2008).

El agua del Río Monjas fue seleccionado para experimentar la utilidad del quitosano, ya que se encuentra dentro del PROGRAMA PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS DE QUITO que ha implementado la EPMAPS. El mismo que tiene como objetivo

“Efectuar un manejo integral y adecuado de los residuos líquidos generados por la población (descargas domésticas) y actividades productivas del DMQ (descargas industriales) mediante su intercepción, conducción y tratamiento de las aguas residuales urbanas; de manera que se minimicen los impactos ambientales que actualmente se derivan de su descarga directa a los ríos y quebradas, contribuyendo a mejorar la calidad

de vida de la población directa e indirectamente involucrada en el proyecto” (EPMAPS, 2016).

La presente investigación obtuvo quitosano, aplicando la metodología basada en la desnaturalización de las cáscaras de camarón para finalmente utilizarlo como ablandador del agua del río Monjas, a niveles de dureza que la norma ASME indica como permitido (CaCO_3 0.300 ppm). Se consideró esta normativa ya que a nivel industrial éstas son muy estrictas en su cumplimiento.

Se planteó el objetivo principal, el cual corresponde a la extracción y utilización de quitosano, mediante la desnaturalización del exoesqueleto del camarón, como sustituto biodegradable de resinas de intercambio iónico (inorgánico), para disminuir la dureza y alcalinidad del agua de uso industrial y así evitar incrustaciones que perjudican a los procesos a la vez que contribuye a la utilización de residuos del camarón.

Metodología

Área de estudio

El área de estudio corresponde al agua del Río Monjas, el cual se encuentra ubicado dentro de la provincia de Pichincha en el Distrito Metropolitano de Quito, encontrándose al noroccidente de la urbe. El mapa que se presenta a continuación se presenta el punto exacto del muestreo. Las coordenadas del punto de muestreo corresponden a 17M 0781696; 9982896.

Gráfico 3. Ubicación geográfica del punto de muestreo



Fuente: Elaboración autor

Diseño de muestreo

En el punto de muestreo se recolectó una muestra, la misma que corresponde a un muestreo simple. Para la toma de muestras se siguieron los procedimientos estandarizados, que se mencionan en el Acuerdo Ministerial 061 de la calidad ambiental. ANEXO 1. Las muestras fueron transportadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales de la Universidad Internacional SEK, para su posterior análisis.

Diseño experimental

Obtención de quitosano

Según Fuentes et. al (2008) y Loaiza (2016), el proceso de obtención de quitosano se basa en la desnaturalización de las cáscaras de camarón, proceso que se resume a continuación:

Preparación de la materia prima.- En este proceso se preparan las cáscaras de camarón, se lavan con abundante agua, retirando la materia orgánica o comestible que pueda encontrarse en el interior, se retira la cola y las patas del camarón.

Proceso de secado.- en este proceso se seca en la estufa por 8 horas a 70°C.

Molienda y tamizado.- una vez secas las cáscaras de camarón, se procedió a triturar manualmente; luego se procede a licuar para poder tamizar. Una vez conseguido el polvo de camarón, se tamiza por cuatro mallas 180um-150um-75um y 45um. Se pesa la cantidad correspondiente a cada tamiz y se empaca en una funda ziploc.

Desproteínización.- Según Fuentes, et al. (2008) únicamente el tamaño de partícula de 180 y 150 um se debe utilizar, ya que son los más eficientes. Este paso consiste en retirar las proteínas que se encuentran en la cáscara del camarón mediante un tratamiento químico. Las muestras se tratan con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) en una concentración de 5%, en una relación sólido: líquido 1: 10, manteniendo la temperatura de 95 °C por un período de 2 horas; es importante mencionar que debe estar bajo agitación constante. Una vez finalizado este proceso, se filtra y se lava la muestra con abundante agua destilada para neutralizar a un pH de 7, finalmente la muestra deberá secarse durante 6 horas a 70°C en la estufa.

Desmineralización.- este proceso consiste en la remoción de carbonato de calcio de las cáscaras de camarón, para lo cual se sumerge la muestra en ácido clorhídrico HCl en una concentración 2N, en una relación sólido líquido 1 : 5 a temperatura ambiente durante dos horas, bajo agitación constante. Al finalizar este procedimiento se filtra y se lava con abundante agua destilada las muestras hasta llegar a un pH de 7. Se seca la muestra en una estufa por 6 horas a 70°C.

Purificación.- este proceso se realiza para obtener quitina libre de residuos de carbonato de calcio, para lo cual la muestra será tratada con hidróxido de sodio en una concentración de 3% en una relación sólido: líquido 1:5 por una hora a 100°C. Una vez finalizado este proceso se filtra y se lava con abundante agua destilada hasta conseguir un pH 7. Finalmente se seca la muestra por 6 horas a 70°C en una estufa.

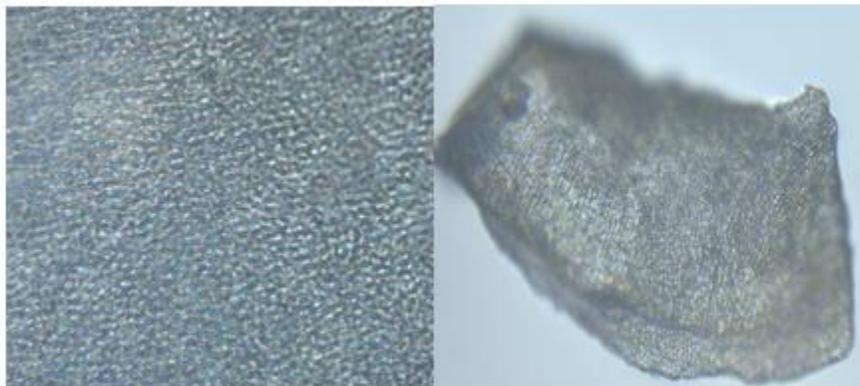
Desacetilación.- mediante este proceso se obtiene quitosano a partir de quitina. Se trata la muestra con hidróxido de sodio en una concentración 50%, en relación sólido-líquido 1:10, bajo agitación constante a 100°C durante 1 hora. Finalmente al término de este proceso se lava y se filtra la muestra con abundante agua destilada hasta conseguir un pH de 7. Se seca la muestra durante 6 horas a 70°C.

Gráfico 4. Quitosano



Fuente: Elaboración autor

Gráfico 5. Vista de Quitosano 150 um **a)** Vista 100X **b)**Vista 40X



Fuente: Elaboración autor

Caracterización del quitosano

pH.-

Para calcular el pH de quitosano se pesa un gramo el mismo y se hidrata en agua destilada en un volumen de 25 mL. Posteriormente se midió el pH con sonda de medida.

Porcentaje de humedad.-

Para calcular el porcentaje de humedad se procedió a secar un crisol durante dos horas a 105 °C, transcurrido éste tiempo se saca el crisol y se coloca en un desecador hasta su enfriamiento.

Posteriormente se pesa 1 g de la muestra y se deja secar durante 4 horas a 105 °C. Transcurrido este tiempo se calcula el porcentaje de humedad mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Humedad} = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

Donde:

M1: peso del crisol con la muestra húmeda

M2: peso del crisol con la muestra seca

Densidad.-

La densidad es la relación de masa con respecto al volumen que ocupa un cuerpo. Para este cálculo, se pesa una cantidad determinada de quitosano y luego se mide el volumen en una probeta.

Grado de desacetilación.-

Para calcular el grado de desacetilación, se siguió la metodología que Ramírez, Delgado y Andrade (2016) quien propone la determinación del grado de desacetilación de quitosano mediante titulación potenciométrica, FTIR y Raman, para la realización de dicho procedimiento, en primer lugar se disuelven 0.20 g de quitosano en 25 ml de una solución acuosa de HCl 0.1042 M. Se

calcula la cantidad de KCl que se debe agregar a la solución anterior para ajustar la fuerza iónica a 0.1 y se afora a 100 ml con agua destilada. La solución titulante se prepara con NaOH 0.025 M conteniendo 0.1 M de KCl. Se utiliza un potenciómetro para realizar mediciones de pH, se agrega la solución de NaOH en cantidades constantes de 0.5 ml por vez con agitación mecánica constante, se registran los valores de pH en cada adición, hasta alcanzar un valor de pH de 2. Se continúa con la titulación usando NaOH hasta alcanzar un valor de pH de 6.0. El grado de desacetilación se calcula mediante la ecuación:

$$DD\% = (2.03) \frac{V2 - V1}{m + 0.0042 (V2 - V1)}$$

Donde:

DD%: Grado de Desacetilación

V2: Volumen de NaOH gastado para pH 2

V1: Volumen de NaOH gastado para pH 6

m: peso de la muestra de quitosano

Caracterización de las resinas de intercambio iónico

Las resinas utilizadas fueron LEWATIT C 249. “es una resina de intercambio catiónico, de alta calidad, fuertemente ácida, de reticulación estándar, a base de un polímero de estireno/DVB”. Esta resina es especialmente indicada en “aplicación de tratamiento de agua industrial, como desmineralización, servicio de cambio y ablandamiento”...”presenta una alta capacidad de intercambio iónico, junto con una excelente resistencia mecánica y osmótica” (Asociación Nacional de la Industria Química, 2017).

Cálculo de dureza y alcalinidad Total

Mediante la aplicación de Standard Methods for the examination of water and wastewater (2005) se calculó la dureza y la alcalinidad de las muestras de agua. El procedimiento 2320B corresponde a la determinación de alcalinidad total, el cual describe un método titulométrico con el empleo de ácido sulfúrico valorado en 0.1N. El procedimiento 2340B corresponde a la determinación de la dureza total, el cual describe un método titulométrico con EDTA. Finalmente para el cálculo de la dureza cálcica el procedimiento correspondió al 3500 Ca-B que indica un método titulométrico con la aplicación de EDTA.

Construcción de filtros empacados de quitosano y resinas de intercambio iónico

Se construyeron dos filtros siendo el relleno filtrante quitosano con un tamaño de partícula 180 y 150 μm , ya que según (Fuentes, Contreras , Perozo, Mendoza , & Villegas , 2008) estos tamaños de partícula son los adecuados para este tipo de tratamiento de agua. Análogamente, se construyeron dos filtros empacados con resinas de intercambio iónico. Es importante mencionar que según el peso en masa (g) de quitosano se empacaron los filtros cuyo relleno filtrante fueron las resinas, para comparar los resultados de porcentaje de retención posteriormente. Es decir, la cantidad que se obtuvo al final del proceso de obtención de quitosano fue: quitosano con tamaño de partícula 150 μm (9.54 g) y quitosano con tamaño de partícula 180 μm (6.94 g).

Las dimensiones de los filtros que fueron empleados son: diámetro 5 cm y altura 15 cm.

El volumen de agua que se filtró fue de 300mL de la muestra por cada filtro.

Gráfico 6. Filtros empacados de quitosano y resinas de intercambio iónico



Fuente: Elaboración autor

Resultados y Discusión

Se inició con 60.20 g de polvo de cáscara de camarón y al finalizar el proceso de extracción de quitosano se obtuvieron 12.08 g; de los cuales 6.36 g corresponde a quitosano con un tamaño de partícula de 180 μm , el mismo que representa el 53%; y los restantes 5.72 g corresponde al quitosano con tamaño de partícula de 150 μm , que representa el 47%. Los resultados de la caracterización del Quitosano así como la comparación que se realizó de ciertos parámetros físico químico se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la caracterización del quitosano

Quitosano	Color	Olor	pH	Humedad %	Densidad (mg/L)	Grado de desacetilación %
180 μm	Blanquecino	Sin olor	6.6	0.53	0.254	73.21
150 μm	Blanquecino	Sin olor	6.8	0.50	0.191	76.83
Comercial	Blanquecino	Sin olor	≤ 8	≤ 8	≤ 8	70-90

Como se puede observar, la calidad del quitosano extraído a nivel de laboratorio, cuenta con características similares importantes con las del quitosano comercial; el grado de desacetilación es de 76.83% por lo tanto se encuentra dentro de los parámetros de calidad, ya que el quitosano comercial cuenta con un rango de 70-90%, sugiriendo que el quitosano extraído a nivel de laboratorio actuará como ablandador de agua en las pruebas pertinentes.

Se calculó la concentración de carbonatos de calcio expresados como dureza total, dureza cálcica y alcalinidad total, para un volumen de 300 mL de agua de Río Monjas; obteniendo los siguientes resultados que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Condiciones iniciales del agua del Río Monjas

Muestra	Dureza total CaCO₃ ppm	Dureza cálcica CaCO₃ ppm	Alcalinidad total ppm
1	160.00	127.94	3200
2	150.00	121.95	2900
3	170.00	137.94	2800
4	150.00	121.95	2600
Media	157.50	127.44	2875.00

Se debe mencionar que las concentraciones iniciales de CaCO₃ del Río Monjas superan las concentraciones que señala la Tabla 4.

Tabla 4. Concentración máxima permisible

Referencia	Dureza total CaCO₃ ppm	Descripción	Alcalinidad total ppm	Descripción
ASME	0.3	Agua blanda	700-800	Baja
Kevern, 1989	0-15	Agua muy blanda	menor 75	Baja

A continuación se presentarán los diferentes resultados que se obtuvieron de las pruebas de filtración. Dentro de la nomenclatura se ha definido como *Resina eq Q1* refiriéndose a las

resinas que son equivalentes en peso al *Quitosano de 180 um* como tamaño de partícula; y las *Resinas eq Q2* refiriéndose a las resinas equivalentes en peso al *Quitosano de 150 um* como tamaño de partícula.

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos para dureza total. Como se puede apreciar, en los cuatro tratamientos la dureza total inicial (160 ppm CaCO₃) disminuyó considerablemente (20.01 ppm CaCO₃). Dentro de la categoría de resinas la eq a Q2 la más efectiva ya que removió el 93.33 %; y el Quitosano de 180 μm resultó ser el más efectivo dentro de esta categoría ya que removió el 82.34% del total; ya que inició en una concentración de 170 ppm CaCO₃ y al finalizar las siete filtraciones disminuyó hasta llegar a la concentración de 30.03 ppm CaCO₃. Dentro de este contexto es importante mencionar que 30.03 ppm CaCO₃ es la concentración más baja que se obtuvo al aplicar quitosano.

Tabla 5. Resultados de Dureza Total

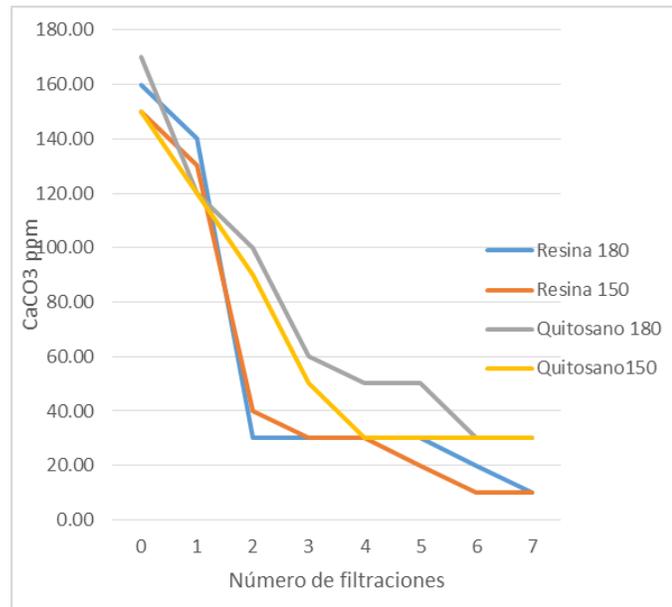
Pruebas	Resina eq Q1	Resina eq Q2	Quitosano 180	Quitosano 150
0	160.00	150.00	170.00	150.00
1	140.13	130.12	120.11	120.11
2	30.03	40.04	100.09	90.08
3	30.03	30.03	60.05	50.05
4	30.03	30.03	50.05	30.03
5	30.03	20.02	50.05	30.03
6	20.02	10.01	30.03	30.03
7	10.01	10.01	30.03	30.03
Disminución	93.74%	93.33%	82.34%	79.98%

Es importante mencionar que para la categoría de resinas desde la tercera prueba se estabiliza la concentración de ppm de CaCO₃; finalmente en ambos casos en la séptima prueba alcanzan los valores más bajos, resultando una concentración de 10.01 ppm de CaCO₃. Por otro lado, dentro de la categoría correspondiente a quitosano, el quitosano de 180 μm alcanzó la

estabilidad en la sexta prueba, correspondiendo a la concentración más baja de 30.3 ppm de CaCO_3 . El quitosano de 150 μm alcanzó la estabilidad en la cuarta prueba, con una concentración de 30.3 ppm de CaCO_3 .

La propuesta de quitosano como sustituto de resinas de intercambio iónico es aceptable, ya que la concentración de CaCO_3 disminuyó en un 80%; sin embargo en la séptima prueba se estabiliza llegando a la concentración más baja de 30 ppm de CaCO_3 , pese al gran porcentaje de reducción, la concentración de CaCO_3 no se encuentra dentro de los niveles máximos permisibles como lo establece la ASME, siendo 0.3 ppm. Las curvas de concentración se muestran en el Gráfico 6.

Gráfico 7. Reducción de la concentración de CaCO_3 . Dureza Total.



En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos para dureza cálcica, como se puede apreciar, en los cuatro tratamientos la dureza total inicial disminuyó considerablemente. Dentro de la categoría de resinas la eq Q1 la más efectiva ya que removió el 87.5%; ya que inició con una concentración de 32.06 ppm 30.03 ppm CaCO_3 y al finalizar las siete filtraciones obtuvo la

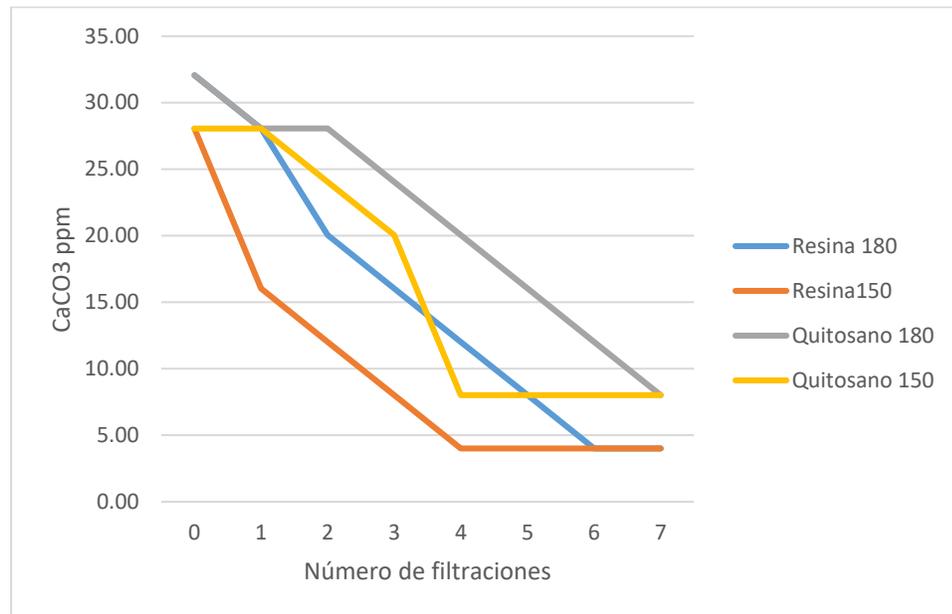
concentración de 4.01 ppm ppm CaCO₃. Por otro lado el quitosano de 180 μm resultó ser el más efectivo dentro de esta categoría ya que removió el 75% del total, de una concentración inicial de 32.06 ppm CaCO₃ disminuyó a una concentración final de 8.02 ppm CaCO₃.

Tabla 6. Resultados de Dureza Cálctica

Pruebas	Resina eq Q1	Resina eq Q2	Quitosano 180 um	Quitosano 150 um
0	32.06	28.05	32.06	28.05
1	28.05	16.03	28.05	28.05
2	20.04	12.02	28.05	24.05
3	16.03	8.02	24.05	20.04
4	12.02	4.01	20.04	8.02
5	8.02	4.01	16.03	8.02
6	4.01	4.01	12.02	8.02
7	4.01	4.01	8.02	8.02
Disminución	87.50%	85.71%	75.00%	71.43%

Dentro de este contexto, se puede mencionar que la categoría de resinas en la séptima prueba alcanzan la concentración más baja, la cual corresponde a 4.01 ppm de CaCO₃; por otro lado dentro de la categoría correspondiente a Quitosano alcanzaron la concentración más baja en la séptima prueba, sin embargo la concentración fue de 8.02 ppm de CaCO₃. Las curvas de reducción de la concentración de calcio se muestran en el Gráfico 7.

Gráfico 8. Reducción de Ca^{2+} . Dureza Cálctica



Para complementar el análisis de dureza total, se calculó la dureza magnésica. Los resultados se presentan en la Tabla 7. La resina eq Q1 resultó ser más efectiva dentro del grupo de las resinas, ya que alcanza el 95.31% de remoción de la concentración inicial de CaCO_3 ; mientras que el quitosano de tamaño de partícula de 180 μm alcanzó la remoción del 84.04% de la concentración inicial.

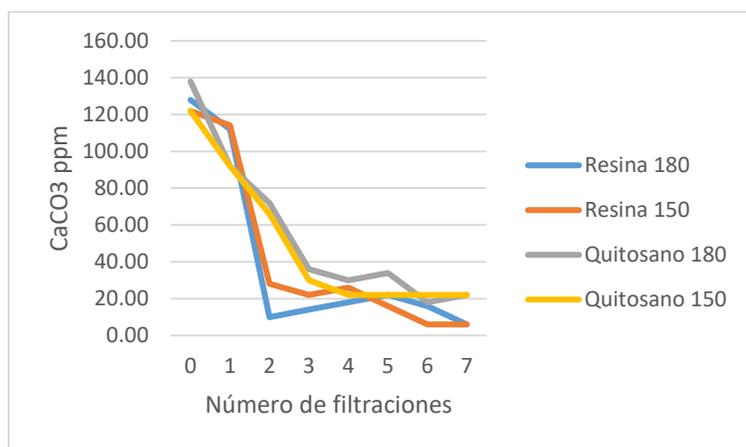
Tabla 7. Resultados de dureza magnésica

Pruebas	Resina eq Q1	Resina eq Q2	Quitosano 180 μm	Quitosano 150 μm
0	127.94	121.95	137.94	121.95
1	112.07	114.09	92.05	92.05
2	9.99	28.01	72.04	66.04
3	14.00	22.01	36.01	30.01
4	18.00	26.02	30.01	22.01
5	22.01	16.01	34.01	22.01
6	16.01	6.00	18.00	22.01
7	6.00	6.00	22.01	22.01

Disminución	95.31%	95.08%	84.04%	81.95%
--------------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Las curvas de reducción de la concentración se muestran en el Gráfico 8. Las curvas de reducción de Mg^{2+} son similares a las gráficas de reducción de dureza total así como las de dureza cálcica; por lo tanto se corrobora la eficiencia del Quitosano como sustituto biodegradable de resinas de intercambio iónico.

Gráfico 9. Reducción de Mg^{2+} . Dureza Magnésica.



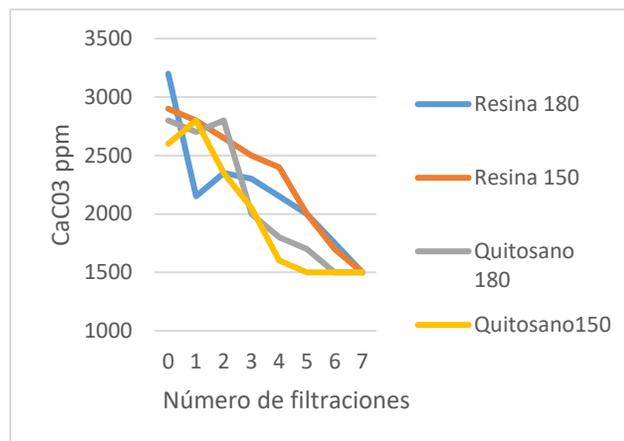
En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos para alcalinidad total, como se puede apreciar, en los cuatro tratamientos la dureza total inicial redujo considerablemente. Dentro de la categoría de resinas la eq Q1 la más efectiva ya que removió el 53.13 %; ya inició en una concentración de 3200 ppm $CaCO_3$ y al finalizar las filtraciones disminuyó a la concentración de 1500 ppm $CaCO_3$. Sin embargo el Quitosano de 180 μm resultó ser el más efectivo dentro de esta categoría ya que removió el 42.31% del total, ya que de una concentración inicial de 2800 ppm $CaCO_3$ disminuyó luego de las siete filtraciones a la concentración final de 1500 ppm $CaCO_3$.

Tabla 8. Resultados de Alcalinidad total

Pruebas	Resina eq Q1	Resina eq Q2	Quitosano 180 um	Quitosano 150 um
0	3200	2900	2800	2600
1	2150	2800	2700	2800
2	2350	2650	2800	2350
3	2300	2500	2000	2050
4	2150	2400	1800	1600
5	2000	2000	1700	1500
6	1750	1700	1500	1500
7	1500	1500	1500	1500
Disminución	53.13%	48.28%	46.43%	42.31%

En el mismo contexto, se puede mencionar que los cuatro tratamientos coincidieron en la concentración más baja, la cual corresponde a la séptima prueba. La concentración fue de 1500 ppm de CaCO_3 . Las curvas de reducción de alcalinidad total se muestran en el Gráfico 9.

Gráfico 10. Reducción de Alcalinidad Total



Finalmente se realizó el análisis estadístico que permite “medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos” conocido como Kolmogorov-Smirnov (innovaMIDE, 2010). El mismo que presenta dos hipótesis.

H_0 : los datos siguen una distribución M.

H1: los datos no siguen una distribución M.

Para ambos casos se debe comprobar el nivel de significancia, si menos que 0.05 se acepta la hipótesis H1. Si por el contrario es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis H0 (Hammer, 2017). Dentro de este contexto se analizan los resultados que se obtuvieron con la aplicación de Kolmogorov-Smirnov.

En la Tabla 9 se presentan los resultados de los análisis comparando la distribución de datos correspondientes a dureza total. Como se puede observar al comparar los dos tratamientos (resinas de intercambio iónico y quitosano) se obtienen valores muy cercanos a 1, esto significa que los dos tratamientos son similares y por lo tanto funcionarán equivalentemente. Al comparar la efectividad de las resinas eq 180 y quitosano 180 se obtiene un valor de 0.1877, el cual nos indica que los datos presentan una distribución normal; por otro lado al comparar resina eq 150 y quitosano 150 se obtiene un valor de 0.5189, para el cual se aplica el mismo razonamiento anterior.

Tabla 9. Análisis Kolmogorov-smirnov. Dureza Total

DUREZA TOTAL		
p (same)	Resina eq 180	Resina eq 150
	1	
p (same)	Quitosano 180	Quitosano 150
	0.929	
p (same)	Resina eq 180	Quitosano 180
	0.1877	
p (same)	Resina eq 180	Quitosano 150
	0.929	
p (same)	Resina eq 150	Quitosano 180
	0.1877	
p (same)	Resina eq 150	Quitosano 150
	0.5189	

En la Tabla 10 se presentan los resultados de los análisis comparando la distribución de datos correspondientes a Dureza cálcica. Como se puede observar al comparar los dos tratamientos (resinas de intercambio iónico y quitosano) se obtienen valores de 0.929 y 0.5289 respectivamente, por lo tanto, significa que los dos tratamientos son similares y funcionarán equivalentemente. Al comparar la efectividad de las resinas eq 180 y quitosano 180 se obtiene un valor de 0.929, el cual nos indica que los datos presentan una distribución normal (normalmente conocida como campana de Gauss (Ángel, Sedano, & Vila, 2015)), así como nos indica que en ambos tratamientos la dureza cálcica disminuyó representativamente; por otro lado al comparar resina eq 150 y quitosano 150 se obtiene un valor de 0.1877, este indica que los datos se distribuyen normalmente, sin embargo en esta comparación la reducción de la dureza cálcica variará según el tratamiento.

Tabla 10. Análisis Kolmogorov-smirnov. Dureza Cálctica

DUREZA CÁLCICA		
p (same)	Resina eq 180	Resina eq 150
	0.929	
p (same)	Quitosano 180	Quitosano 150
	0.5189	
p (same)	Resina eq 180	Quitosano 180
	0.929	
p (same)	Resina eq 180	Quitosano 150
	0.929	
p (same)	Resina eq 150	Quitosano 180
	0.1877	
p (same)	Resina eq 150	Quitosano 150
	0.1877	

Finalmente en la Tabla 11 se presentan los resultados de los análisis comparando la distribución de datos correspondientes a Alcalinidad total. Al comparar los dos tratamientos

(resinas de intercambio iónico y quitosano) se obtienen valores de 0.1877 y 0.929 respectivamente, como se mencionó anteriormente estos valores significan que los dos tratamientos son similares y por lo tanto funcionarán equivalentemente. Al comparar la efectividad de las resinas eq 180 y quitosano 180 se obtiene un valor de 0.929, el cual indica que los datos presentan una distribución normal; por otro lado al comparar resina eq 150 y quitosano 150 se obtiene un valor de 0.5189, para el cual se considera que los datos se encuentran distribuidos normalmente y que la disminución de la alcalinidad disminuirá equivalentemente en ambos tratamientos.

Tabla 11. Análisis Kolmogorov-smirnov

ALCALINIDAD TOTAL		
p (same)	Resina eq 180	Resina eq 150
	0.1877	
p (same)	Quitosano 180	Quitosano 150
	0.929	
p (same)	Resina eq 180	Quitosano 180
	0.929	
p (same)	Resina eq 180	Quitosano 150
	0.5189	
p (same)	Resina eq 150	Quitosano 180
	0.929	
p (same)	Resina eq 150	Quitosano 150
	0.5189	

Es importante mencionar que la efectividad del tratamiento en el cual se propone al quitosano como sustituto biodegradable de las resinas de intercambio iónico, depende por una parte en el porcentaje de disminución de la concentración de CaCO_3 y por otra de los costos que representa el tratamiento. Por lo tanto se considera que al mezclar los dos tratamientos en

distintas concentraciones se podría sustituir las resinas de intercambio iónico que son inorgánicas por el quitosano que es un producto netamente orgánico.

Teniendo esto en cuenta se calcularon los costos, los mismos que se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12. Análisis de costo de los tratamientos

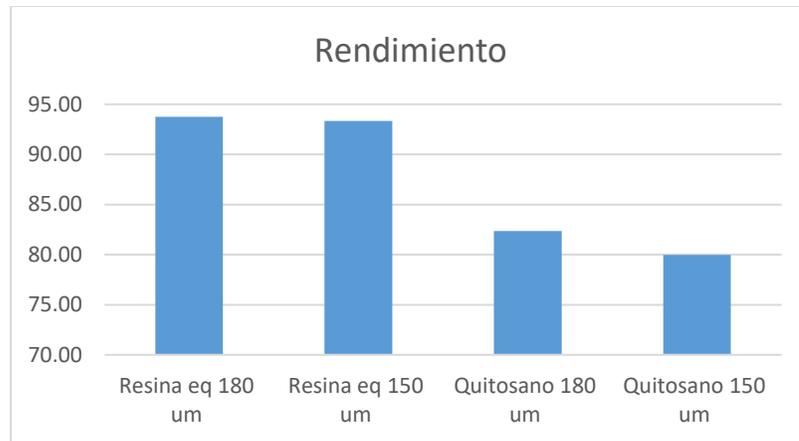
Tipo de Tratamiento	Masa empleada en el filtro (g)	Concentración Inicial (mg/L)	Concentración Final (mg/L)	Porcentaje de reducción	Costo nivel comercial (USD)	Costo del Tratamiento (USD)
Resina eq 180 um	6.36	160.00	10.01	93.74	116.24	1.9455
Quitosano 180 um	6.36	170.00	30.03	82.34	35	0.2226
Resina eq 150 um	5.72	150.00	10.01	93.33	116.24	1.7497
Quitosano 150 um	5.72	150.00	30.03	79.98	35	0.2002
Quitosano 180 um	6.36	170.00	30.03	93.74	35	0.2279
Quitosano 150 um	5.72	150.00	30.03	93.33	35	0.2336

Finalmente el análisis de rendimiento concluye con el gráfico del rendimiento por cada tratamiento que se propuso. De esta manera se demuestra que los tratamientos en los que se emplea resinas de intercambio iónico alcanzan los rendimientos más altos; sin embargo los costos, como se revisó anteriormente son directamente proporcionales, ya que para remover un promedio de 93.53% de la concentración inicial de CaCO_3 requerirá de un dólar con ochenta y cuatro aproximadamente.

Para el caso del quitosano alcanza rendimientos bajos comparados a las resinas; sin embargo los costos de tratamiento son de igual manera más bajos, ya que para remover un promedio del 80.66% de la concentración inicial requerirá de veintidós centavos. Es importante

mencionar que en el caso de que se requiera reducir un 93% mediante la aplicación de quitosano, el costo del tratamiento aproximadamente resultaría en veintitrés centavos.

Gráfico 11. Rendimiento de los tratamientos



Conclusiones

Partiendo de 60.20 g de polvo de cáscara de camarón y al finalizar el proceso de extracción de quitosano se obtuvieron 12.08 g; de los cuales 6.36 g corresponde a quitosano con un tamaño de partícula de 180 um y los restantes 5.72 g corresponde al quitosano con tamaño de partícula de 150 u, siendo el 47% de pérdida de polvo por los restantes dos tamices. Por lo tanto de un kilogramo de polvo de cáscara de camarón, aproximadamente el 20% podría resultar quitosano luego del tratamiento químico.

En las pruebas de filtración disminuyó un 82% de la concentración inicial de CaCO_3 ; sin embargo los resultados no se encuentran dentro del rango que establece la ASME para Dureza Total, siendo este máximo permisible 0.3 ppm CaCO_3 .

Se redujo el 46% de la concentración inicial de CaCO_3 ; sin embargo los resultados no se encuentran dentro del rango que establece la ASME para Alcalinidad total expresados como ppm de CaCO_3 , ya que el máximo permisible se encuentra en un rango de 700-800 ppm CaCO_3 .

Dentro del análisis la Alcalinidad total tampoco cumple con los máximos permisibles.

El grado de desacetilación del quitosano que se obtuvo en el laboratorio fue en promedio de 73%, encontrándose de esta manera dentro del rango que grado de desacetilación que normalmente tiene el quitosano comercial; por lo tanto sustenta la efectividad como sustituto biodegradable de las resinas de intercambio iónico.

La efectividad del quitosano se encuentra respaldada en los costos de tratamiento; ya que para la disminución de un 93% de la concentración inicial de CaCO_3 en un volumen de 300 mL de agua mediante quitosano, el costo de éste tratamiento sería de veintitrés centavos. Mientras que el costo del tratamiento en el cual se emplea resinas de intercambio iónico resulta ser de aproximadamente un dólar con ochenta y cuatro centavos.

Recomendaciones

Para evitar la pérdida de polvo de las cáscaras de camarón, se recomienda emplear operaciones unitarias de molienda y tamizado; de esta manera se garantiza la obtención de un tamaño de partícula adecuado para este tratamiento.

Se recomienda realizar pruebas con filtros mixtos, en diferentes porcentajes tanto de resinas de intercambio iónico así como de quitosano, con el fin de comprobar la efectividad de ambos procesos conjuntamente. Por lo tanto se puede disminuir el uso de las resinas de intercambio iónico (inorgánicas) por el quitosano que es orgánico.

Para futuras investigaciones, se recomienda realizar pruebas de filtración con quitosano hasta obtener una concentración de CaCO_3 de 30.0 ppm de CaCO_3 y posteriormente continuar la filtración utilizando resinas de intercambio iónico; con el fin de llegar a los niveles permisibles que establece la ASME. Finalmente es importante mencionar que es probable que se disminuyan los procesos de regeneración de las resinas.

Referencias

- De Sousa, C., Correia, A., & Colmenares, M. (Diciembre de 2010). Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. Maracay: Scielo.
- American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation . (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewater .
- Ángel, A., Sedano, M., & Vila, A. (2015). Distribución normal . Universitat Oberta de Catalunya.
- Asociación Nacional de la Industria Química. (2017). Información de Producto. LEWATIT C 249. México.
- Blackburn, R. (2004). Natural polysaccharides and their interactions with dye molecules: applications in effluent treatment. *Environmental Science Technology*, 4905-4909.
- Cámara de comercio de Guayaquil. (2017). PIB 2016 y Proyecciones 2017. *PIB 2016 y Proyecciones 2017. Informe de posición estratégica 184*.
- Castro, Juan Cristóbal. (2011). *Diseño de una propuesta de tratamiento y purificación del agua de consumo humano en el centro de experimentación y producción Salache (CEYPSA) de la Universidad Técnica de Cotopaxi*. Lataunga, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Cervantes, L. (Abril de 2015). Normalmente se utiliza un equipo conocido como ablandador de agua, el cual se encuentra formado por un lecho donde se ubican las resinas, por el cual se hace circular el agua a ser tratada. Los iones de calcio y de magnesio son reemplazados por iones de s. Quito, Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana .
- Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones - PRO ECUADOR . (2016). *Perfil sectorial de acuicultura*. Quito : Ministerio de Comercio Exterior .
- EPMAPS. (2016). Programa para la descontaminación de los Ríos de Quito . Quito , Ecuador.
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (2017). *Regeneración Resinas de Intercambio Iónico* . Colombia.
- Flores , R., Ortíz, H., Olguín , M., Emeterio, M., & García, H. (2006). Caracterización y disposición de resinas de intercambio iónico utilizadas en instalaciones nucleares. Acapulco, México: First American IRPA Congress 2006.
- Fuentes, L., Contreras , W., Perozo, R., Mendoza , I., & Villegas , Z. (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Multiciencias*, 281-287.
- Giraldo, J. (2015). Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano. Universidad de Concepción .
- Hammer, o. (2017). PAST. PAleontological STatistics. Version 3.18. Reference manual . University of Oslo .
- innovaMIDE. (2010). SPSS: Pruebas no paramétricas. Kolmogorov-Smirnov. España: Universidad de Valencia. Grupo de Innovación Educativa. . Obtenido de https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0802A.pdf

- Lárez, C. (2003). Algunos usis del quitosano en sistemas acuosos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 91-109.
- Loaiza, F. (2016). Análisis del proceso de extracción de Quitosano a partir del exoesqueleto de camarón (*Litopenaeus vannamei*), para su aplicación en la formulación de productos de uso. Quito , Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- Luna, M. (2012). Obtención de Quitosano a partir de Quitina para su empleo en conservación de frutillas y moras. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., Araujo, K., Aiello, C., Chandeler, C., & Gutiérrez, E. (2011). Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*, 53-58.
- Millán , F., Mathison, J., Alvares, M., & Jarbough, W. (2003). Estudio de la dureza del agua en el estado de Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela. *Reevista Ciencia e Ingeniería*, 39-46.
- Miñana, V. (2002). Calcio en el agua de bebida en la infancia: ¿Molesto o necesario? *Acta pediátrica española*. Volumen 60 (2). Pp 72-80.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2016). *La política agropecuaria ecuatoriana*.
- Ministerio del Ambiente. (2 de Diciembre de 2017). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>
- Muzzarelli, R. (1985). The Polysaccharides. *Academic Press*, 417.
- Nieto , C., & Orellana, V. (2011). Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Pérez, J. C. (2015). DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL AGUA DE ALIMENTACIÓN A LOS CALDEROS EN EL PARQUE ACUÁTICO LOS ELENES DEL CANTÓN GUANO. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- R, K. (1989). Alkalinity water, classification systems. *Alkalinity water, classification systems. Volume Part 1. The Michigan* .
- Ramírez, C., Delgado, E., & Andrade, J. (2016). Determinación del grado de desacetilación de quitosana mediante titulación potenciométrica, FTIR y Raman. México: Coloquio de Investigación Multidisciplinaria.
- Restrepo, A., & Guarín, S. (2004). Valoración de los residuos generados en la industria de procesamiento del camarón. Universidad de Ingeniería de Antioquia.
- Richard, J., Meanwell, P., & Shama, G. (2006). Chitin in a dual role as substrate for *Streptomyces griseus* and as adsorbent dor strptomycin produced during fermentation. *Enzyme and Microbial Technology*, 657-664.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and Chitosan: properties and applications. *Elsevier*, 603-632.

Sastoque, L., Mercado, M., Martínez, M., Quevedo, B., & Pedroza, A. (2007). Producción de quitinasas extracelulares con una cepa alcalófila halotolerante de *Streptomyces* sp. aislada de residuos de camarón. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 137-146.

Shivar, & Atkins. (2008). Química inorgánica. McGraw Hill.

Tafur, L., & Quevedo, R. (2014). ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CROMADAS. Tolima : Universidad del Tolima.