

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis previa a la obtención del Título de
Ingeniero Ambiental

TÍTULO:

“APLICACIÓN DEL QUITOSANO COMO PROMOTOR DE
FLOCULACIÓN PARA DISMINUIR LA CARGA CONTAMINANTE”

AUTORES:

NIETO ORELLANA CHRISTIAN RICARDO
ORELLANA ULLOA VALERIA PATRICIA

DIRECTOR:

ING. JOSÉ ULLOA CUZCO

Cuenca, Mayo de 2011

• INDICE DE CONTENIDOS

•

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 10 |
| DEDICATORIA | 11 |
| AGRADECIMIENTOS | 12 |
| CERTIFICACIÓN | 13 |
| DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD | 14 |
| INTRODUCCIÓN | 15 |
| JUSTIFICACIÓN | 17 |
| OBJETIVOS..... | 19 |
| HIPÓTESIS | 19 |
| 1. CAPÍTULO I CAMARÓN (<i>PENAEUSVANNAMEI</i>)..... | 20 |
| 1.1. Generalidades..... | 20 |
| 1.2. Historia | 21 |
| 1.3. Taxonomía | 21 |
| 1.4. Hábitat y Biología | 22 |
| 1.5. Morfología | 22 |
| 1.5.1. Cefalotórax o cabeza..... | 23 |
| 1.5.2. Abdomen o cola..... | 23 |
| 1.5.3. Aparato digestivo..... | 23 |
| 1.5.4. Aparato respiratorio | 24 |
| 1.5.5. Aparato circulatorio | 24 |
| 1.6. Reproducción | 25 |
| 1.7. Ciclo de vida del camarón | 25 |
| 1.8. Desechos de camarón | 27 |

| | | |
|---------|--|----|
| 1.9. | Propiedades químicas | 27 |
| 2. | CAPÍTULO II QUITINA Y QUITOSANO..... | 28 |
| 2.1. | Quitina | 28 |
| 2.2. | Historia | 29 |
| 2.3. | Estado natural..... | 29 |
| 2.4. | Propiedades físicas de la quitina | 31 |
| 2.5. | Propiedades químicas de la quitina | 31 |
| 2.6. | Obtención de la quitina..... | 33 |
| 2.7. | Usos de la quitina | 34 |
| 2.7.1. | Agricultura | 34 |
| 2.7.2. | Medicina..... | 35 |
| 2.7.3. | Biotecnología..... | 35 |
| 2.7.4. | Tratamiento de aguas | 36 |
| 2.8. | Quitosano | 36 |
| 2.9. | Síntesis y preparación industrial del quitosano..... | 38 |
| 2.10. | Propiedades del quitosano..... | 39 |
| 2.10.1. | Grado de acetilación..... | 39 |
| 2.10.2. | Peso molecular y viscosidad | 39 |
| 2.10.3. | Solubilidad..... | 40 |
| 2.10.4. | Bio-degradabilidad..... | 40 |
| 2.10.5. | Interacción del quitosano con iones metálicos | 40 |
| 2.11. | Aplicaciones del quitosano..... | 41 |
| 2.11.1. | Biomedicina | 42 |
| 2.11.2. | Biotecnología | 43 |
| 2.11.3. | Agricultura y operaciones post cosecha | 44 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.11.4. | Tratamiento de aguas residuales | 45 |
| 2.11.5. | Industria Alimentaria..... | 46 |
| 2.11.5.1. | Como aditivo en los alimentos..... | 46 |
| 2.11.5.2. | Envoltura y recubrimiento protector de alimentos..... | 46 |
| 2.11.5.3. | En procesos industriales alimenticios | 47 |
| 2.11.6. | Perspectivas futuras en el uso del quitosano..... | 48 |
| 3. | CAPÍTULO III CONTAMINACIÓN | 49 |
| 3.1. | Definición | 49 |
| 3.2. | Causantes de la contaminación | 50 |
| 3.2.1. | Contaminantes químicos | 50 |
| 3.2.2. | Contaminantes físicos | 51 |
| 3.2.3. | Contaminantes biológicos | 51 |
| 3.3. | Tipos de contaminación..... | 52 |
| 3.3.1. | Contaminación atmosférica..... | 52 |
| 3.3.2. | Contaminación del suelo | 52 |
| 3.3.3. | Contaminación hídrica | 53 |
| 3.3.3.1. | Principales contaminantes del agua | 55 |
| 3.3.3.2. | Fuentes de contaminación hídrica..... | 56 |
| 3.3.3.2.1. | Aguas urbanas o domésticas | 56 |
| 3.3.3.2.2. | Aguas industriales..... | 57 |
| 3.3.3.2.3. | Aguas agrícolas o agropecuarias | 58 |
| 3.3.3.3. | Efectos de la contaminación hídrica..... | 59 |
| 3.3.3.3.1. | Eutrofización | 59 |
| 3.3.3.3.2. | Las mareas negras y los vertederos de petróleo | 60 |
| 3.3.3.3.3. | Transmisión de enfermedades | 60 |

| | | |
|------------|--|----|
| 3.3.3.3.4. | Contaminación por metales pesados..... | 61 |
| 4. | CAPÍTULO IV CROMO..... | 62 |
| 4.1. | Generalidades..... | 62 |
| 4.2. | Usos..... | 63 |
| 4.2.1. | Metalurgia..... | 63 |
| 4.2.2. | Pigmento..... | 63 |
| 4.2.3. | Otros usos del cromo..... | 63 |
| 4.3. | Efectos del cromo..... | 64 |
| 4.3.1. | Papel biológico..... | 64 |
| 4.3.2. | Toxicidad..... | 64 |
| 5. | CAPÍTULO V COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN..... | 66 |
| 5.1. | Coagulación..... | 66 |
| 5.2. | Coagulante..... | 67 |
| 5.2.1. | Coagulantes a base de sales metálicas..... | 67 |
| 5.2.2. | Coagulantes polimerizados a base de sales metálicas..... | 68 |
| 5.2.3. | Coagulantes a base de polímeros sintéticos..... | 68 |
| 5.2.4. | Coagulantes de origen natural..... | 68 |
| 5.3. | Etapas de la coagulación..... | 69 |
| 5.4. | Floculación..... | 70 |
| 5.5. | Sistemas de floculación..... | 71 |
| 5.5.1. | Sistemas hidráulicos..... | 71 |
| 5.5.2. | Sistemas mecánicos..... | 71 |
| 5.6. | Prueba de jarras..... | 72 |
| 6. | CAPÍTULO VI DESARROLLO EXPERIMENTAL..... | 74 |
| 6.1. | Obtención del quitosano..... | 74 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.1.1. | Reactivos y materiales utilizados para la obtención del quitosano | 74 |
| 6.1.2. | Procedimiento para obtención del quitosano | 74 |
| 6.1.3. | Características del quitosano obtenido..... | 76 |
| 6.2. | Metodología experimental..... | 77 |
| 6.2.1. | Reactivos utilizados para la experimentación | 77 |
| 6.2.2. | Equipos y materiales | 77 |
| 6.2.3. | Floculador | 78 |
| 6.3. | Condiciones para el desarrollo de la prueba de jarras | 78 |
| 6.3.1. | Velocidad y tiempo de mezcla rápida..... | 78 |
| 6.3.2. | pH | 79 |
| 6.3.3. | Velocidad de floculación..... | 79 |
| 6.3.4. | Tiempo de floculación | 79 |
| 6.3.5. | Dosificación de quitosano | 79 |
| 6.4. | Procedimiento de coagulación – floculación..... | 80 |
| | Determinación de cromo VI (Cr ⁶⁺)..... | 85 |
| 7. | CAPÍTULO VII RESULTADOS – ANÁLISIS Y DISCUSIÓN | 86 |
| 7.1. | Resultados..... | 86 |
| 7.2. | Análisis y discusión..... | 87 |
| 7.2.1. | Análisis de varianza ANOVA | 87 |
| 7.2.2. | Efecto del Quitosano..... | 89 |
| 7.2.3. | Efecto del Tiempo..... | 90 |
| 7.2.4. | Efecto del pH..... | 91 |
| 7.2.5. | Optimización del proceso de floculación..... | 93 |
| 8. | CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 94 |
| 8.1. | Conclusiones | 94 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 8.2. Recomendaciones..... | 95 |
| BIBLIOGRAFIA | 97 |
| PÁGINAS WEB | 102 |
| ANEXO 3..... | 124 |
| • | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Estados larvales del camarón | 26 |
| Tabla 2. Composición química del exoesqueleto de camarón | 27 |
| Tabla 3. Composición química de algunas fuentes de materia prima para la obtención de quitina..... | 33 |
| Tabla 4. Actividad frente a varios microorganismos, de hilos de sutura con quitosano y sulfato de estreptomycin en comparación con un hilo antimicrobiano búlgaro. | 43 |
| Tabla 5. Algunas consecuencias generadas por el contacto del Cr ⁺⁶ con el organismo humano | 65 |
| Tabla 6. Resumen de las variables de entrada con sus respectivos niveles | 87 |
| Tabla 7. Análisis de varianza para determinar la significancia de cada una de las variables independientes | 87 |
| Tabla 8. Valores recomendados para una mayor eficiencia de remoción de Cr ⁺⁶ | 93 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Morfología del camarón: A: antenas; Ab: Abdomen; Cf: Cefalotórax; Ma: Maxilipodio; Pl: pleopodos; T: Telson; Ur: uropodos | 23 |
| Ilustración 2. Estructura molecular de la quitina | 28 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 3. Estructura molecular del quitosano | 38 |
| Ilustración 4. Algunas aplicaciones del quitosano en diversos campos | 42 |
| Ilustración 5. Mecanismo de coagulación entre coloides | 66 |
| Ilustración 6. Proceso de formación de flóculos | 70 |
| Ilustración 7. Ruptura de los flóculos formados, debido a una agitación prolongada o a velocidades muy intensas | 70 |
| Ilustración 8. Sistema de floculación mecánico con tabiques divisorios | 71 |
| Ilustración 9. Sistema de floculación mecánica utilizado en una planta de tratamiento de aguas | 72 |
| Ilustración 10. Desmineralización de las cáscaras de camarón | 75 |
| Ilustración 11. Quitosano obtenido | 76 |
| Ilustración 12. Equipo floculador utilizado para la prueba de jarras | 78 |
| Ilustración 13. Dicromato de potasio utilizado para generar la matriz de agua contaminada..... | 81 |
| Ilustración 14. Prueba de tratabilidad realizada a las muestras de agua..... | 82 |
| Ilustración 15. Filtración de las muestras para eliminar los flóculos | 82 |
| Ilustración 16. Ajuste del potencial de hidrógeno mediante goteo | 83 |
| Ilustración 17. Titulación con Difenilcarbazida..... | 84 |
| Ilustración 18. Celdas para lectura en el espectrofotómetro | 84 |
| Ilustración 19. Diagrama de Pareto en que se categorizan a las variables de entrada en orden de importancia..... | 88 |
| Ilustración 20. Comportamiento de la curva de rendimiento frente a la dosis de quitosano | 89 |
| Ilustración 21. Efecto del quitosano a tiempos y pH diferentes | 90 |
| Ilustración 22. Efecto del tiempo de floculación sobre el rendimiento de remoción..... | 91 |
| Ilustración 23. El rendimiento tiene mejores resultados cuando se utiliza un pH neutro | 92 |
| Ilustración 24. Muestra los distintos rendimientos obtenidos con diferentes valores de pH..... | 92 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Estados larvales del camarón | 26 |
| Tabla 2. Composición química del exoesqueleto de camarón | 27 |
| Tabla 3. Composición química de algunas fuentes de materia prima para la obtención de quitina..... | 33 |
| Tabla 4. Actividad frente a varios microorganismos, de hilos de sutura con quitosano y sulfato de estreptomicina en comparación con un hilo antimicrobiano búlgaro. | 43 |
| Tabla 5. Algunas consecuencias generadas por el contacto del Cr ⁺⁶ con el organismo humano | 65 |
| Tabla 6. Resumen de las variables de entrada con sus respectivos niveles | 87 |
| Tabla 7. Análisis de varianza para determinar la significancia de cada una de las variables independientes | 87 |
| Tabla 8. Valores recomendados para una mayor eficiencia de remoción de Cr ⁺⁶ | 93 |

RESUMEN

La contaminación es un problema muy grave que se presenta en muchos cuerpos de agua a nivel mundial, siendo los metales pesados y sus compuestos los contaminantes que mayor dificultad presentan para su eliminación por métodos sencillos, debido a su persistencia y bio-acumulación.

La presente investigación estudia la eficiencia del quitosano presente en la cáscara de camarón (*PenaeusVannamei*) para eliminar la carga contaminante de los metales como el cromo hexavalente disuelto en una matriz de agua.

Para la coagulación y eliminación del cromo, se realizó la prueba de jarras con varias muestras del agua contaminada; estableciendo tres variables independientes con tres niveles para cada muestra: el pH del agua contaminada (5 – 7 – 9), tiempo de floculación (5, 15 y 30 minutos) y dosis de la solución de quitosano (15, 30 y 60 mililitros). El agua contaminada fue preparada en el laboratorio mediante dilución de dicromato de potasio en agua potable.

El quitosano fue mezclado en una solución de ácido acético al 4%, obteniendo una concentración de 1 mg de quitosano por mililitro de solución, mientras que para regular el pH del agua contaminada, se añadió ácido sulfúrico puro e hidróxido de sodio al 50% mediante goteo. El cálculo de la cantidad de cromo hexavalente inicial y final se lo realizó mediante lectura en el espectrofotómetro.

El rendimiento del quitosano en la remoción de cromo hexavalente fue entre el 40 y el 90%; valores que muestran su amplia efectividad como descontaminante; mas si tomamos en cuenta que los mejores rendimiento se obtuvieron en tiempos de floculación cortos (entre el 5 y 15 minutos).

DEDICATORIA

A mi padre, por ser mi mejor amigo y ejemplo, y a mi familia por su apoyo total, sin ellos no hubiese logrado culminar esta meta.

Christian Nieto

A mi amado hijo David por las infinitas horas que me concedió, para que pudiera concluir mi preparación académica y a mis padres por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

Valeria Orellana Ulloa

AGRADECIMIENTOS

Los autores deseamos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental, por toda su colaboración en la realización del presente trabajo investigativo.

Al Ingeniero Pablo Arévalo Moscoso, quien compartió desinteresadamente sus conocimientos y supo guiarnos durante toda nuestra etapa estudiantil.

Al Blgo. Pedro Astudillo, quién amablemente colaboró en la elaboración estadística de esta tesis.

Al Dr. Luis Cumbal, por haber compartido con nosotros sus conocimientos relacionados con el quitosano, además de habernos dotado de materia prima.

Al Dr. Pablo Coba, por el análisis de las muestras en el Centro de Investigación para la Valoración de la Biodiversidad CIVABI en la ciudad de Quito.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Nieto Orellana Christian Ricardo y Orellana Ulloa Valeria Patricia, bajo mi supervisión.

Ing. José Ulloa Cuzco

DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Cuenca, Mayo de 2011

Christian Nieto Orellana

Valeria Orellana Ulloa

INTRODUCCIÓN

Siendo el Ecuador el mayor productor de camarón blanco (*Penaeus Vannamei*) en cautiverio del hemisferio Occidental, y el segundo a escala mundial; solamente ha desarrollado la línea comercial de su carne, mientras que su exoesqueleto es desechado con lo cual se desaprovecha la posibilidad de utilizarlo como fuente de subproductos tales como proteínas, pigmentos, cenizas, calcio y en especial, un polisacárido llamado quitosano, objeto de esta investigación y que fue descubierto en 1859, mediante desacetilación térmica de la quitina presente en el exoesqueleto del camarón.

A pesar de su relativa abundancia, la presencia del quitosano como materia prima química es escasa ya que no se encuentra en estado puro en la naturaleza y rara vez llega a constituir el 50% de una estructura. Está íntimamente asociada con proteínas insolubles en agua y sales inorgánicas que hacen difícil aislarla sin el uso de medidas extremas.

El gran interés por el uso de este compuesto natural, especialmente en la investigación, se debe a que las grandes cantidades de cáscara de camarón que se desechan anualmente en todo el mundo, alrededor de 120.000 toneladas, representan un problema medioambiental serio, debido a su lenta degradación.

Por las condiciones únicas que presenta, tales como baja toxicidad, compatibilidad, y biodegradabilidad, los investigadores han desarrollado un extenso campo aplicaciones que van desde los usos industriales, hasta la medicina y entre los que más resalta es su uso como agente descontaminante de aguas.

En el tratamiento de aguas, se ha utilizado este bio-polímero (quitosano), como resina intercambiadora de iones debido a que se asocia fácilmente a metales disueltos en medios acuosos. De igual manera puede ser empleado como agente de quelación para la separación de compuestos orgánicos, metales pesados, precipitación de algunos residuos aniónicos y la captura de contaminantes como el DDT y los PCB's.

En el diseño experimental del presente trabajo de investigación se determinó la viabilidad del quitosano como coagulante y floculante de en el tratamiento de aguas contaminadas y específicamente como una alternativa para la eliminación de metales pesados se determinaron tres variables independientes (pH, dosis de quitosano y tiempo) y una variable de respuesta (rendimiento de remoción), obteniendo un diseño factorial multinivel 3^3 .

Debido a ventajosas propiedades de este con el medio ambiente, el uso del quitosano como agente alternativo para el tratamiento de aguas tiene buenas expectativas, con respecto a los coagulantes tradicionales de origen sintético.

JUSTIFICACIÓN

Las aguas naturales frecuentemente presentan contaminantes resultado de la erosión del suelo, disolución de minerales, descomposición de la materia orgánica y otros; los mismos que se encuentran en proporciones muy variables, formando parte del ciclo natural que cumple el agua.

Actualmente existe una creciente contaminación acuífera, atribuible al incesante desarrollo industrial y al aumento acelerado de los poblados sin planificación previa; factores que producen grandes volúmenes de contaminantes, afectando la capacidad de auto depuración de los cuerpos de agua, su detrimento y la progresiva disminución de agua apta para el consumo.

Una de las motivaciones para la presente propuesta investigativa es la contaminación que provocan las fábricas e industrias manufactureras que vierten aguas residuales con elevados volúmenes de contaminantes inorgánicos y orgánicos; muchas de ellas directamente a cuerpos de agua, provocando una afección incalculable a los ecosistemas circundantes y con ello a las poblaciones contiguas.

Preocupa entre otros contaminantes los metales pesados, que se encuentran en los vertidos de las fábricas manufactureras, fábricas galvanométricas, curtiembres y fábricas de cerámicas. Entre los mencionados metales destaca el Cromo; elemento de alta toxicidad que provoca afecciones a la piel, es cancerígeno a largo plazo y difícil de eliminar por métodos sencillos.

Nuestra investigación busca promover el desarrollo de alternativas prácticas, económicas y ambientalmente viables para la descontaminación de aguas; mediante el uso del quitosano aprovechando sus propiedades polielectrolíticas, que permitan lograr efectos de coagulación y floculación de metales pesados mediante la llamada prueba de jarras como un floculador. Así podría convertirse en una alternativa por ejemplo; a los procedimientos usados en las plantas potabilizadoras de agua, mediante el uso de sulfato de aluminio como coagulante, sin considerar que su prolongada aplicación produce sedimentos con altos contenidos de aluminio remanente, aumentando los riesgos en los consumidores y transformándose en un problema de salud pública, por la relación directa que tiene el aluminio con el mal de Alzheimer.

Esta investigación además, demostrará que los “desechos” producidos por la actividad camaronera, como son las cáscaras de camarón, pueden transformarse en un subproducto y materia prima útil para descontaminar el agua; lo que servirá para fundamentar bases de un modelo de gestión y reciclaje.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Disminuir la carga contaminante de cromo hexavalente, utilizando el quitosano como promotor de floculación.

Objetivos específicos

- Obtener quitosano a partir de la cáscara de camarón.
- Determinar los factores condicionantes que inciden en la capacidad de coagulación del quitosano.

HIPÓTESIS

H0: El quitosano no sirve como promotor de floculación de cromo hexavalente presente en el agua.

H1: El quitosano sirve como promotor de floculación de cromo hexavalente presente en el agua.

1. CAPÍTULO I CAMARÓN (*PENAEUSVANNAMEI*)

1.1.Generalidades

El camarón ha sido la especie marina de mayor relevancia en las últimas décadas dentro del comercio exterior. Ecuador es el mayor productor de camarón en cautiverio del hemisferio Occidental y el segundo a escala mundial, después de Tailandia; el 96% de la producción camaronera proviene del cultivo y el 4% de la pesca artesanal.

El camarón blanco del Pacífico (*Penaeus Vannamei*) es la principal especie de cultivo, en la costa ecuatoriana. Un 95% de la producción de camarón se realiza con esta especie, a la que se considera una de las más resistentes a cambios medioambientales durante el desarrollo en cautiverio.

La industria camaronera ocupa alrededor de 178.000 Has de tierra del litoral ecuatoriano. La provincia de El Oro y el Golfo de Guayaquil, constituyen las regiones más productivas en las que se inició la actividad camaronera.

Es una especie bentónica que se encuentra entre 10 y 20 centímetros de profundidad del mar, su tipo de pesca puede ser artesanal, industrial y en granjas acuícola. Su cultivo comercial está confinado a las regiones tropicales y subtropicales.

Los camarones criados en piscina de tierra dependen del alimento artificial como fuente principal de nutrientes efectivos. El agua de las piscinas suministra nutrientes a los camarones solamente cuando están pequeños.

Existe una gran mortalidad natural y por la pesca, sin embargo, la naturaleza los ha dotado de gran potencial reproductivo con el cual asegura la permanencia de la especie.

1.2.Historia

La primera reproducción artificial de esta especie se logró en Florida en 1973. A principios de la década del 80 y con el desarrollo subsiguiente de las técnicas para la cría intensiva se extendió a zonas de Centro y Sudamérica, transformándolo a una actividad comercial de esta especie en América Latina. La tendencia de rápido crecimiento, sin embargo está sujeta a cambios climáticos; con picos altos de producción como los ocurridos en épocas cálidas y húmedas, durante la presencia del fenómeno del Niño, y declives coincidentes con la irrupción de enfermedades durante los años fríos de presencia del fenómeno de “La Niña”.

Las actividades acuícolas de estas regiones en general, están orientadas básicamente a la piscicultura del camarón; sin embargo dicha actividad en el Ecuador nació de una manera casual, por el año de 1968 en la provincia de El Oro, específicamente en el cantón Santa Rosa.

“Accidentalmente por agujeros muy grandes, el agua del mar se depositaba en algunos salitrales y traían consigo camarones en estado de post-larvas y juvenil, los cuales después de cierto tiempo crecían hasta tamaños comerciales con bastante facilidad y sin ninguna acción mecánica. Los agricultores de la zona observaron este fenómeno, y empezaron a utilizar técnicas rudimentarias para la cría del camarón, construyendo piscinas para el cultivo de grandes extensiones, las que llenaban mediante bombas de agua y colectando semillas de los alrededores.”(Bautista Parejo, 1987)¹

1.3.Taxonomía

Reino.- Animalia

Filo.- Artrópoda

Subfilo.- Mandibulata

Clase.- Crustáceo

¹BAUTISTA PAREJO Carmen, *Crustáceos Tecnología de cultivo*, Número de edición, Mundi-Prensa Libros S.A, Bilbao, España.1987, p...

Subclase.- Malacostraca
Orden.- Decápoda
Superfamilia.- Penaeida
Familia.- Penaeidae
Género.- Penaeus
Especie.- vannamei

1.4.Hábitat y Biología

El camarón blanco *Penaeus vannamei* es nativo de la costa oriental del Océano Pacífico, en aguas cuya temperatura es normalmente superior a 20 °C durante todo el año, aunque también suele encontrarse en hábitats marinos tropicales.

“Los camarones adultos comen una gran variedad de alimentos, incluyendo moluscos poliquetos y otros crustáceos.”(Bautista Parejo, 1987)²

Los adultos viven y se reproducen en mar abierto, mientras que la post-larva migra a las costas a pasar la etapa juvenil, la etapa adolescente y pre adulta en estuarios, lagunas costeras y manglares. Los machos maduran a partir de los 20 gr y las hembras a partir de los 28 gr, en una edad de entre 6 y 7 meses.

1.5.Morfología

El camarón posee un cuerpo alargado, cilíndrico y aplanado en los lados, en su parte superior es mayor que la inferior como se observa en la Ilustración 1.

² BAUTISTA PAREJO Carmen, *Crustáceos Tecnología de cultivo*, Número de edición, Mundi-Prensa Libros S.A, Bilbao, España.1987, p...

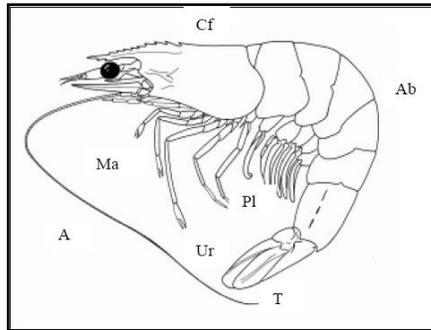


Ilustración 1. Morfología del camarón: A: antenas; Ab: Abdomen; Cf: Cefalotórax; Ma: Maxilipedio; Pl: pleopodos; T: Telson; Ur: uropodos

Fuente: Bonilla Lam, Biología del *Pennaeus Vannamei*, 2008

A continuación se describen las partes identificadas del camarón:

1.5.1. Cefalotórax o cabeza

Se encuentra localizada en la parte anterior del organismo y contiene la mayor parte de los órganos vitales, así tenemos: rostro, anténulas, antenas (órganos sensitivos), aparato bucal. Interiormente se encuentra la parte anterior y media del aparato digestivo, branquias, gónadas. Exteriormente se observan 5 pares de patas que sirven para caminar.

1.5.2. Abdomen o cola

Se encuentra en la parte posterior del cuerpo, constituye la masa muscular comestible, el abdomen se extiende desde la parte posterior de la cabeza hasta el extremo posterior de la cabeza. Posee 6 segmentos que van reduciendo paulatinamente su diámetro hasta llegar al último que es un poco más largo que los anteriores. Los 5 primeros segmentos presentan un par de apéndices, sirven para nadar, llamados pleopodos. En la parte final del último segmento se encuentra el telson y dos pares de apéndices llamados uropodos que le sirven para impulsarse.

1.5.3. Aparato digestivo

Comienza con la boca localizada ventralmente, donde son llevados los alimentos ayudados por las primeras patas, pasan por el esófago hacia el estomago que tiene forma de saco aquí se encuentran dos cavidades, la cámara cardíaca donde se trituran los

alimentos y la cámara pilórica que se comunica con las glándulas digestivas, para luego continuar con el intestino, que recorre por la parte dorsal del abdomen y termina por el ano.

1.5.4. Aparato respiratorio

Los camarones respiran a través de las branquias (mediante los filamentos branquiales), las mismas que se encuentran localizadas en el interior de la cabeza. El mecanismo consiste en lo siguiente: el animal toma oxígeno del medio acuático y expulsa anhídrido carbónico.

En la región del estómago está presente un molino gástrico de desarrollo variable en función trituradora. En el molino gástrico se encuentran un fuerte sistema muscular que, ayudado con la secreción enzimática procedente de la glándula digestiva, reduce el alimento hasta constituir una especie de papilla muy fina.

En el interior del estómago existe una serie de pliegues provistos de cerdas que realizan una acción filtradora, a la que contribuye la presencia de sistemas musculares que regulan el tamaño de los conductos.

1.5.5. Aparato circulatorio

La sustancia que constituye la sangre es bombeada desde un gran vaso considerado como el corazón, ubicado en la cabeza, hacia una cavidad mayor, que lo reviste, llamado seno pericárdico, desde aquí es enviada a todo el cuerpo del camarón, para luego nutrir las células, ser recogida por una vena ventral y llevada hacia los filamentos branquiales en donde se vuelve a oxigenar y finalmente es transportada hacia el seno pericárdico para dirigirse luego al corazón comenzando así un nuevo ciclo.

El cerebro está representado por concentraciones ganglionares que inervan los ojos, las antenas y las piezas bucales.

Entre los órganos sensoriales destacan los ojos compuestos como órganos de la visión. Los órganos del equilibrio que están situados en la base de las primeras antenas.

También presentas varios receptores táctiles, así como estructura especiales productoras de sonido, que no están presentes en todos los decápodos y cuya localización y características varían en función de la especie.

1.6.Reproducción

En estado natural el camarón se aparea y reproduce en el mar, la cópula entre machos y hembras normalmente se lleva a cabo después de cada muda de la hembra. El esperma se halla encapsulado en espermatóforos y el macho lo inserta en un receptáculo seminal especial de la hembra. Esto puede ocurrir en cualquier momento del año, los espermatóforos no utilizados son rechazados con la concha en cada muda. De este modo se lleva a cabo la reproducción. El desove de la hembra ocurre a mediados de mayo, a finales de septiembre.

Durante el acto de la reproducción los espermias depositados en los receptáculos seminales son liberados y cuando los huevos son descargados ocurre la fertilización.

La copula y el desove ocurre en aguas marinas de mayor profundidad. Después de la eclosión del huevo el animal pasa por cada uno de los estadios larvales planctónicos a la vez que se desplaza a la costa. De la cantidad de huevos desovados, un porcentaje muy pequeño completa el ciclo hasta el estado de adulto.

1.7.Ciclo de vida del camarón

En el ciclo de vida de los camarones se consideran etapas para el desove en mar abierto. En el cual los óvulos expulsados son fecundados por los espermatozoides contenidos en el espermatóforo, previamente colocado por el macho en el abdomen de la hembra. Los huevecillos se hunden prontamente, y luego sobreviene el desarrollo larval que comprende 11 estados:

- 5 incluidos bajo el nombre de nauplio
- 3 de protozoa
- 3 de misis

Dichos estados larvales preceden a la forma verdaderamente adulta conforme se detalla a continuación:

| ESTADO | | LARGO (en mm) |
|------------|----------|---------------|
| Huevo | | 0,2 |
| Larva | Nauplio | 0,3 – 0,6 |
| | Protozoa | 0,8 – 2,6 |
| | Misis | 3,2 – 4,4 |
| Post-larva | | 4,0 – 24,9 |
| Juvenil | | 25,0 – 89,0 |
| Sub-adulto | | 90,0 – 139,0 |
| Adulto | | 140,0 |

Tabla 1. Estados larvales del camarón
Fuente: Bautista Parejo, CRUSTÁCEOS Tecnología de cultivo, 1987

Los huevos fertilizados se incuban en larvas de nauplios de 13 a 14 horas después de la reproducción. Dentro de las 36 horas siguientes los nauplios pasan a la etapa protozoaria. En la primera etapa protozoaria, las larvas empiezan a alimentarse tomando algas unicelulares, pequeños crustáceos y una variedad de otros microorganismos planctónicos. Los protozoarios, a su vez, pasan hasta la etapa *misis* durante los siguientes 5 días, bajo estas formas el camarón es planctónico (se alimenta del plancton) y se ha movido desde los lugares de desove hasta las aguas protegidas constituidas por las marismas, esteros y bahías.

Durante los siguientes 5 días, realizan la metamorfosis en el primer camarón post-larvario. En esta etapa, el animal termina su existencia planctónica y empieza a arrastrarse por el fondo, pasando cambios adicionales, logrando caracteres adultos y una longitud corporal de unos 6 cm en un periodo de unos 40 días.

Los desplazamientos o migraciones de las post-larvas de camarón son afectados por el estado de las mareas, la velocidad de la corriente, el ciclo diurno (de las mareas) con fases lunares y variaciones estacionales. Las inmigraciones a las lagunas costeras y esteros se hacen por razones de búsqueda de áreas de mayor abundancia de alimentos.

Las post-larvas empiezan inmediatamente a alimentarse de pequeños microorganismos bénticos, plantas y desechos animales.

Al alcanzar el estado adulto inicia el movimiento hacia mar abierto influenciado por la luna y las mareas; de este hecho se aprovechan los pescadores. Los ejemplares que al salir al mar y sobreviven a la pesca que se realizan en mar abierto, son los encargados de reiniciar el ciclo.

1.8.Desechos de camarón

En el Ecuador la explotación del camarón, se constituye entre las principales actividades económicas, del cual se aprovecha solamente su carne, en tanto que la cabeza, cola y caparazón son catalogados como desecho; por lo que se pierde la opción de que se utilicen como subproductos entre ellos, la obtención de polímeros naturales como la quitina y el quitosano.

1.9.Propiedades químicas

El caparazón del camarón está constituido por quitina, proteína, pigmentos y cenizas con un alto porcentaje de calcio, también contiene magnesio y fósforo como se muestra la **Tabla 2.**

| Componentes | Porcentaje % |
|--------------------|---------------------|
| QUITINA | 17-32 |
| PROTEINAS | 17-42 |
| PIGMENTOS | 1-14 |
| CENIZAS | 41-46 |

Tabla 2. Composición química del exoesqueleto de camarón
Fuente: Viñán Murillo, Aprovechamiento de residuos de camarón y cangrejo, para obtener quitina, quitosana y proteína con fines farmacéuticos, 2005

2. CAPÍTULO II QUITINA Y QUITOSANO

2.1. Quitina

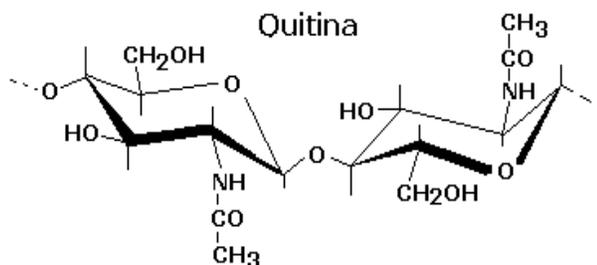


Ilustración 2. Estructura molecular de la quitina

Fuente: Lárez Velásquez, <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ABR03/Cristobal2003.pdf> 2003

El término quitina deriva de la palabra griega “chiton”, que significa túnica, haciendo referencia a su dureza. Es uno de los componentes principales que se encuentra en las paredes celulares de hongos, y del resistente exoesqueleto de los artrópodos (arácnidos, crustáceos, insectos).

La quitina es un polisacárido compuesto de unidades de N-acetilglucosamina (exactamente, N-acetil-D-glucos-2-amina); que están unidas entre sí con enlaces β -1,4, de la misma forma que las unidades de glucosa componen la celulosa. Se la menciona como un derivado de la celulosa, pero un análisis más fondo demuestra que en su estructura molecular presenta diferencias, en internet es posible encontrar la siguiente definición: “Puede pensarse en la quitina como en celulosa con el grupo hidroxilo de cada monómero reemplazado por un grupo de acetilamina. Esto permite un incremento de los enlaces de hidrógeno con los polímeros adyacentes, dándole al material una mayor resistencia.” (Quitina, 2010)³

³ WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, 2001, <http://es.wikipedia.org/wiki/Quitina>

2.2.Historia

La quitina fue descubierta y aislada por Henry Braconnot en 1811, mientras que en 1823 el científico E. Odier encontró la misma sustancia, formando parte de la estructura de las plantas y en algunos insectos nombrándola quitina. Odier también identificó quitina en el caparazón desmineralizado del cangrejo y sugirió que es el material base del exoesqueleto de todos los insectos y posiblemente de los arácnidos.

El avance científico de la época cuando se realizó el descubrimiento de la quitina, no permitió que los científicos proyectaran el uso potencial de la misma. Sin embargo, debido al avance tecnológico de ese entonces, ambos científicos no se imaginaron las sorprendentes propiedades del polisacárido y sus derivados ni el enorme espectro de sus aplicaciones.

Con el desarrollo de la química a principios del siglo XX, los químicos Emil Fischer en 1903, Paul Karrer en 1929 y Walter Haworth en 1939, lograron avanzar en la obtención de la Quitina, y a finales del mismo siglo a través de una intensa investigación científica, en Europa y Japón, se logró conocer a fondo las cualidades de la quitina y la quitosano.

2.3.Estado natural

La Quitina se encuentra en el exoesqueleto de todos los artrópodos, como insectos, arácnidos, crustáceos y otras; también es posible obtener quitina de las grandes cantidades de caparazones de langostas, cangrejos de mar, camarones y jaibas que son desechados producto de la actividad pesquera.

El exoesqueleto de crustáceos, es la principal fuente industrial de quitina. En el camarón y el cangrejo, la quitina representa el 14-27% y 13-15%, respectivamente; y está íntimamente asociada con las proteínas, sales inorgánicas, tales como el carbonato de calcio y lípidos incluyendo los pigmentos.

Las concha de almeja y ostra contienen cantidades significativas de quitina, sin embargo, la producción del polímero son bajas ya que contienen quitina al 6 y 4%, mientras que el restante corresponde a cenizas. Por otro lado la cáscara de moluscos,

como el calamar, es la fuente menos común de quitina abarca el 40% de quitina que está casi libre de sales del calcio.

Además de los artrópodos, hay fuentes poco comunes donde también es posible encontrar quitina: “Existen hongos que producen quitosano en producciones significativas, en función al contenido de la pared celular en seco, *Mucorrouxií* y *ChoanephoraCucurbitarum* con 30 y 28% de quitosano, respectivamente. También, dos diatomeas marinas, *CyclotellaCryptica* y *Thalassiosirafluviatilis* han demostrado ser una fuente de quitina pura que no se asocia a las proteínas.” (Hernández Beltrán, 2004)⁴

Debido a que la quitina se encuentra formando parte de la estructura de seres vivos con diferentes características, también será común encontrar diferencias en la quitina que se obtenga según la fuente; tal como lo menciona MargueriteRinaudo:

“Dependiendo de la fuente de donde se extraiga, la quitina puede presentarse en dos formas llamadas, la forma α y la forma β ; la α – quitina es la más abundante ya que se encuentra presente en hongos, células de levadura, krill y caparzones de cangrejos, langostas y camarones. [...]. La β – quitina, se encuentra asociada con proteínas dentro del organismo de los calamares, en el tubo digestivo de ciertos gusanos, en la cubierta protectora de ciertas algas o protozoarios.” (Rinaudo, 2006)⁵

A pesar de su abundancia, como se indica en los párrafos anteriores, la presencia de la quitina como materia prima química es escasa. Como lo indica Oscar Viñán en su tesis de investigación:

“La quitina no se encuentra en estado puro en la naturaleza y rara vez llega al 50% de una estructura. La quitina de origen animal está íntimamente asociada con proteínas

⁴ HERNÁNDEZ BELTRAN, Yaima, Monografias.com, 2004, <http://www.monografias.com/trabajos53/quitina-quitosana/quitina-quitosana2.shtml>

⁵ RINAUDO, Marguerite, Chitin and Chitosan: Properties and application, 2006, www.sciencedirect.com

insolubles en agua y sales inorgánicas que hacen difícil aislarla sin el uso de medidas extremas.” (Viñán Murillo, 2005)⁶

No es probable que nuevas fuentes de quitina sean explotadas comercialmente en corto plazo, ya que la actual demanda es cubierta por la quitina derivada de los exosqueletos de crustáceos obtenidos de la industria del procesamiento de mariscos.

2.4. Propiedades físicas de la quitina

La quitina se caracteriza por ser blanca, dura, inelástica y es la mayor fuente de contaminación superficial de las áreas cercanas al mar, por estar contenida en los caparazones de los crustáceos. Su fórmula es $C_8H_{13}O_5N$, tiene gran peso molecular y al igual que la celulosa también tiene una estructura de cadenas orientadas paralelamente.

En internet se la describe como: “un polisacárido compuesto de unidades de N-acetil glucosamina [...] unidas entre sí con enlaces β -1,4.”(Quitina, 2010)⁷

2.5. Propiedades químicas de la quitina

Una de sus propiedades más características de la quitina, es su gran peso molecular, haciéndola insoluble en solventes acuosos como el agua, álcalis diluidos y concentrados, alcohol y en ciertos disolventes orgánicos lo que representa un gran inconveniente para su desarrollo y procesamiento.

“Debido al alto grado de cristalinización, la quitina es insoluble en solventes acuosos y en muchos solventes sin ninguna degradación apreciable e incluso en los sistemas típicos que disuelven la celulosa, a pesar de las semejanzas estructurales entre ellas.” (Hernández Beltrán, 2004)⁸

⁶ VIÑÁN MURILLO, Oscar Fabian, *Aprovechamiento de residuos de camarón y cangrejo, para obtener quitina, quitosana y proteína con fines farmacéuticos*, Tesis, 2005, Riobamba, Ecuador.

⁷ WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, 2001, <http://es.wikipedia.org/wiki/Quitina>

⁸ HERNÁNDEZ BELTRÁN, Yaima, Monografias.com, 2004
<http://www.monografias.com/trabajos53/quitina-quitosana/quitina-quitosana2.shtml>

Existe información limitada acerca de las propiedades físicas de la quitina en soluciones debido a los pocos estudios de investigación y ensayos que se han realizado acerca de su solubilidad:

“En el primer estudio desarrollado sobre la solubilidad, se introdujo los parámetros de solubilidad para la quitina en varios solventes. Se obtuvo un complejo entre la quitina y el cloruro de litio LiCl [...], también solvente para la celulosa. Los parámetros de la quitina que se tomaron en cuenta fueron la viscosidad intrínseca y el peso molecular de la quitina.

La quitina es dispersada en NaOH concentrado y se deja reposar a 25 °C durante tres horas o más; la quitina alcalina obtenida se disuelve en hielo picado cercano a los 0 °C. Éste procedimiento permitió obtener un película de quitina transparente con buenas propiedades mecánicas, [...] y bajo ciertas condiciones puede ser disuelta en agua.” (Rinaudo, 2006)⁹

Oscar Viñán también menciona la capacidad que tiene la quitina para disolverse en soluciones orgánicas:

“Es soluble, en general con alguna degradación, en ácidos minerales concentrados. [...]Se disuelve en una solución de sodio en amoníaco líquido, con formación de compuestos monosódico.” (Viñán Murillo, 2005)¹⁰

⁹ RINAUDO, Marguerite, 2006, www.sciencedirect.com

¹⁰ VIÑÁN MURILLO, Oscar Fabian, *Aprovechamiento de residuos de camarón y cangrejo, para obtener quitina, quitosana y proteína con fines farmacéuticos*, Tesis, 2005, Riobamba, Ecuador.

| Origen | Composición Química | | | | |
|---|---------------------|-----------|---------|---------|---------|
| | Humedad | Proteínas | Cenizas | Lípidos | Quitina |
| Caparazones jaiba y cangrejo | | | | | |
| <i>Callinectes sapidus</i> | 46.8 | 7 | 38.5 | 0.4 | 7.3 |
| <i>Paralithodes camtschaticus</i> | 50 | 11 | 23 | 0.5 | 15.5 |
| <i>Chionectes opilio</i> | --- | 10.3 | 57.9 | 1.35 | 26.65 |
| Camarón (langostino) | | | | | |
| <i>Penaeus spp</i> | | | | | |
| Cabeza | 77.04 | 12.9 | 5.2 | 2.06 | 2.8 |
| Cáscara | 65 | 22.1 | 9.2 | 0.5 | 6.2 |
| Krill | | | | | |
| <i>Euphasia superba</i> | --- | 41 | 23 | 11.6 | 24 |
| Langosta | | | | | |
| <i>Linuparustrigonus</i> | 13.5 | 17.0 | 54.7 | --- | --- |
| <i>Panulirus argus</i> | 11.8 | 11 – 14 | 55 | --- | 10.6 |
| Calamar | | | | | |
| <i>Dosidicus gigans</i> (calamar gigante) | 60 | 24.16 | 0.4 | 0.26 | 18.9 |
| <i>Loligo spp</i> (calamar común) | 50 | 32.75 | 0.25 | --- | 17 |

Tabla 3. Composición química de algunas fuentes de materia prima para la obtención de quitina
Fuente: Peniche Covas, Estudios sobre la Quitina y el Quitosano, 2006

2.6. Obtención de la quitina

La Quitina se obtiene comercialmente del exoesqueleto de cangrejos y camarones, donde se encuentra asociada con carbonato de calcio, proteínas, pigmentos y grasas, éstos últimos en pequeñas cantidades. La quitina es muy estable a los ácidos y álcalis, por lo que se puede aislar como un producto luego de una descomposición con ácido y álcalis de las otras sustancias a las que se encuentra asociada en el exoesqueleto.

Existen varios métodos de obtención de la Quitina que varían en función de los investigadores, sin embargo muchos de los autores coinciden que es necesario la utilización de ácidos y bases para la obtención de la quitina como en el método generalizado se detalla a continuación:

“El exoesqueleto primero se limpia y trata con ácido para remover el carbonato de calcio, generalmente se utiliza HCl en concentraciones entre 0.3 y 2 M, el tratamiento va de 1 a 48 horas a temperaturas que varían de 0 a 100°C; el HCl provoca que el peso

molecular de la quitina disminuya. El exoesqueleto descalcificado se corta en pequeños pedazos o se pulveriza y se desproteíniza con tratamientos alcalinos. La solución alcalina penetra en los intersticios de la matriz del caparazón para romper el enlace entre las proteínas y la quitina. Típicamente se trata con soluciones acuosas de NaOH 1-2 M durante 72 horas a temperaturas que varían de 65 a 100°C. La quitina se obtiene como un polvo blanquecino.” (Quitina, 2010)¹¹

La quitina obtenida se clasifica en función de su pureza y color, debido a que las trazas de proteína o pigmento resultante pueden causar problemas en sus aplicaciones posteriores, especialmente para productos biomédicos. Razón anterior por la cual en el tratamiento para la obtención de quitina se debe adaptar procedimientos según la fuente de donde se la extraiga y según el uso proyectado.

2.7. Usos de la quitina

La Quitina tiene varios usos y aplicaciones pero aún es necesario potenciar las investigaciones en torno a este elemento, sobre todo por las grandes cantidades de cáscara de camarón que se desechan en todo el mundo. Se calculan alrededor de 120.000 toneladas anuales; que representan un problema medioambiental serio, debido a su lenta degradación. Actualmente varias investigaciones en curso muestran el extenso campo de aplicaciones de la Quitina.

2.7.1. Agricultura

Se ha utilizado recientemente como un fertilizante que puede ayudar a las plantas como un buen inductor para sus mecanismos de defensa, desarrollar reacciones inmunitarias saludables y otorgando un rendimiento mucho mejor y la esperanza de vida.

¹¹ WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, 2001, <http://es.wikipedia.org/wiki/Quitina>

2.7.2. Medicina

Ha mostrado excelentes resultados en la cura de la diabetes, afecciones de las vías respiratorias y asma, enfermedades del hígado, entre otras; aunque también presenta potencialidades como material quirúrgico.

“Sus propiedades como un material flexible, resistente y biodegradable hacen que sea favorable como hilo quirúrgico que se desgasta al mismo tiempo que la herida sana. Por otra parte, la quitina tiene algunas propiedades inusuales que aceleran la cicatrización de las heridas en los seres humanos.” (Quitina, 2010)¹²

Además ayuda al organismo por medio de las defensas, haciendo efecto en los microorganismos y células del cuerpo humano.

“La quitina activa los macrófagos peritoneales en vivo, suprime el crecimiento de células tumorales en ratones y estimula la resistencia de huéspedes contra las infecciones por *Escherichia Coli*.” (Rinaudo, 2006)¹³

2.7.3. Biotecnología

La quitina tiene muchas características que se asemejan a una bio-película bacteriana, dichas similitudes son responsables de su compatibilidad universal con todos los microorganismos, lo cual le permite ser utilizada en varias investigaciones científicas.

“Debido a su biodegradabilidad [...] ha encontrado aplicaciones en muchas áreas distintas de los alimentos, como biosensores. La quitina se puede procesar en forma de películas o fibras... estas fibras se utilizan como aglutinantes en el proceso de fabricación de papel.” (Rinaudo, 2006)¹⁴

¹² WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, 2001, <http://es.wikipedia.org/wiki/Quitina>

¹³ RINAUDO, Marguerite, *Chitin and Chitosan: Properties and application*, 2006, www.sciencedirect.com

¹⁴Idem

2.7.4. Tratamiento de aguas

Entre las propiedades químicas de la quitina destaca una muy importante, como lo es su carga positiva, la que le permite asociarse fácilmente a metales disueltos en medios acuosos, lo que facilita su uso como resina intercambiadora de iones, en el tratamiento de aguas.

“La quitina y sus derivados tienen dos propiedades principales que son de interés para la industria y para la conservación de la naturaleza: son notables como agentes de quelación y como trampas de metales pesados.

Son empleados como agentes de quelación, para el tratamiento de agua potable mediante la separación de compuestos orgánicos y metales pesados, y para el tratamiento de aguas residuales por precipitación de algunos residuos aniónicos y la captura de contaminantes como el DDT y los PCB's.” (GreatVista Chemicals)¹⁵

A las versátiles propiedades mencionadas anteriormente, cabe añadir, su inocuidad ante los seres vivos y la naturaleza, que no deja rastros de su presencia; a diferencia de los floculantes y coagulantes tradicionales a base de sales y químicos fuertes, los cuales largo plazo generan problemas en la salud humana debido a su persistencia.

2.8. Quitosano

Es un polisacárido lineal compuesto de cadenas distribuidas aleatoriamente de β -(1-4) D-glucosamina, unidades desacetiladas, y N-acetil-D-glucosamina, unidad acetilada. Y es el principal derivado que se obtiene al tratar quitina con soluciones ácidas y básicas a altas temperaturas. Fue descubierto por el profesor C. Rouget en 1859, quien al tratar quitina con una solución caliente de hidróxido de potasio obtuvo un producto soluble en ácidos orgánicos; la llamó *quitina modificada*, pero más tarde fue, en 1894, estudiada por Félix Hoppe-Seyler quién la denominó quitosano.

¹⁵ GREATVISTA CHEMICALS, Chitin, 2008,
<http://www.greatvistachemicals.com/biochemicals/chitin.html>

A pesar de que su principal fuente es la desacetilación térmica de la quitina; es posible encontrarlo, en estado natural en otras fuentes no muy comunes:

“Es también un polisacárido que se encuentra en estado natural en las paredes celulares de algunos hongos; sin embargo, su principal fuente de producción es la hidrólisis de la quitina, en medio alcalino, usualmente hidróxido de sodio o de potasio, a altas temperaturas.” (Lárez Velásquez, 2003)¹⁶

La desacetilación completa de la quitina produce un material totalmente soluble en medio ácido conocido como *quitano*; sin embargo, cuando la desacetilación del material es incompleta se generan materiales con distintas propiedades denominados quitosanos; la diferencia en las propiedades de estos materiales se nota por la distinta solubilidad en medio acuoso que pueden llegar a tener.

Es importante recalcar la amplia actividad que se ha desarrollado en torno al quitosano; lo cual se ha palpado en la aparición de congresos, simposios, conferencias, etc., dedicados exclusivamente al uso del quitosano:

“Su importancia adquirió matiz internacional como materiales poliméricos de primer orden, especialmente por su biodegradabilidad, [...] también en Iberoamérica se ha venido trabajando con el quitosano y en el 2000 se celebró en La Habana, Cuba, el Primer Simposio Latinoamericano de Quitina y Quitosano [...]” (Lárez Velásquez, 2003)¹⁷

¹⁶LÁREZ VELÁSQUEZ, *Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos*, 2003, <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ABR03/Cristobal2003.pdf> 2003)

¹⁷LÁREZ VELÁSQUEZ, *Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos*, 2003, <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ABR03/Cristobal2003.pdf> 2003)

2.9. Síntesis y preparación industrial del quitosano

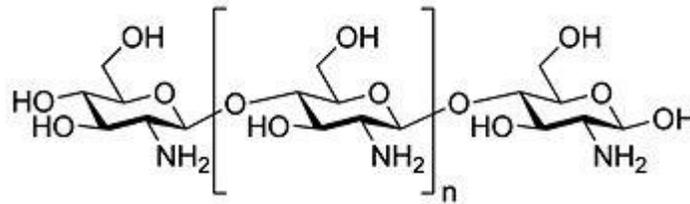


Ilustración 3. Estructura molecular del quitosano

Fuente: Wikipedia, Chitosan, 2010

El quitosano se produce comercialmente mediante la desacetilación de la quitina, dicha desacetilación se la realiza con tratamientos térmicos utilizando un fuerte álcali acuoso; como resultado se obtiene quitosano con un porcentaje de desacetilación de entre un 70% y un 85%.

El doctor Carlos Peniche de la Universidad de La Habana, en Cuba, realizó un trabajo de investigación en el cual detalla su metodología de obtención del quitosano:

“La desacetilación de la quitina se lleva a cabo por hidrólisis de los grupos acetamida en medio fuertemente alcalino, a altas temperaturas [...] empleando soluciones concentradas de NaOH o KOH a temperaturas superiores a 100°C. Las condiciones específicas de la reacción dependerán de diversos factores, tales como el material de partida, el tratamiento previo y el grado de desacetilación deseado.” (Peniche Covas, 2006)¹⁸

Resulta muy difícil desacetilar totalmente la quitina, y lo que se conoce como quitosano es otra cosa que un grupo de quitinas con diferentes grados de desacetilación. Actualmente se exploran otros métodos más novedosos que permitan una desacetilación más completa de la quitina, en dichos métodos se hace uso de radiación con microondas o de tratamientos termo-mecánicos.

¹⁸ PENICHE COVAS, Carlos Andrés, *Estudios sobre la Quitina y el Quitosano*, 2006, Editorial Universitaria, La Habana, Cuba.

2.10. Propiedades del quitosano

El grupo amino en el quitosano posee una ligera carga positiva, lo que le permite ser soluble en medios ácidos o en soluciones neutras; es un bio-adhesivo que puede ligarse a las superficies cargadas negativamente tales como las membranas mucosas; debido a esta propiedad física el quitosano permite el transporte de principios activos polares a través de las superficies epiteliales, siendo además bio-compatible y biodegradable.

Debido al proceso de desacetilación de la quitina pierde parte de los grupos acetilo, alrededor del 50%, para convertirse en quitosano, lo cual le permite ser soluble, más fácilmente, en ciertas sustancias: “La capacidad del quitosano de disolverse en soluciones acuosas diluidas de ácidos es el criterio comúnmente aceptado para diferenciarla de la quitina.”(Peniche Covas, 2006)¹⁹

2.10.1. Grado de acetilación

El grado de acetilación es muy importante para obtener un producto soluble, pero también hay que tomar en cuenta la distribución de los grupos acetilo dentro de la molécula. “Los factores que afectan el grado de desacetilación incluyen: tratamiento previo, tamaño de partícula, y la densidad de la quitina [...], el nivel máximo de desacetilación que se puede alcanzar en un solo tratamiento alcalino es cerca de 75-85%.”(Yaima Hernández, 2004)²⁰

2.10.2. Peso molecular y viscosidad

El quitosano exhibe una amplia gama de viscosidades en los medios ácidos diluidos que dependen principalmente de su peso molecular, el cual es más reducido en comparación a la quitina. Además, debido a su alta viscosidad, que se asemeja a la de las gomas naturales, el quitosano puede emplearse como espesante, estabilizante o agente de dispersión.

¹⁹ PENICHE COVAS, Carlos Andrés, *Estudios sobre la Quitina y el Quitosano*, 2006, Editorial Universitaria, La Habana, Cuba.

²⁰ YAIMA HERNÁNDEZ, Beltrán, *La quitina y la quitosana, polisacáridos animales de gran importancia*, 2006, <http://www.monografias.com/trabajos53/quitina-quitosana/quitina-quitosana.shtml>

2.10.3. Solubilidad

La solubilidad y la viscosidad del quitosano dependen del grado de desacetilación y degradación del polímero, factores que determinan con qué tipo de sustancias o soluciones, se podrá asociar, “el quitosano no es soluble a $\text{pH} > 6.0$ y funciona solamente en sistemas ácidos, siendo una propiedad relevante para su aplicación en alimentos. Debido a la alta densidad de cargas positivas el quitosano se comporta en soluciones ácidas acuosas como una molécula policatiónica.”(Yaima Hernández, 2004)²¹

2.10.4. Bio-degradabilidad

Al igual que muchos otros compuestos orgánicos el quitosano también es bio-absorbible y biodegradable, debido a la acción de enzimas propias del polímero u otras similares; debido a ésta propiedad es que su utilización se ha ampliado y ha adaptado a muchos usos, tal como lo menciona Yaima Hernández en su investigación sobre los usos del quitosano: “entre las enzimas que han sido reportados para ejercer actividad hidrolítica en el quitosano se encuentran: quitosanasa, lisozima, pectinasa, lipasa, dextranasa, [...] pancreatina, pepsina y papaina. [...] Se ha demostrado que es lentamente degradada principalmente por las enzimas quitosinasas y lisozimas; con las primeras, la biodegradación sucede hasta en un 75%, y hasta en un 35% con lisozimas.” (Yaima Hernández, 2004)²²

Cabe mencionar que a su bio-degradabilidad se adiciona la no toxicidad que se produce durante el proceso de degradación del quitosano a cargo de las enzimas antes mencionadas lo que potencializa aún más el interés de su uso en varios campos.

2.10.5. Interacción del quitosano con iones metálicos

La capacidad, del quitosano, para absorber metales presentes y disueltos en los medios acuosos depende directamente de aspectos físicos, el tipo de estado en que se encuentre, así como también de aspectos mecánicos que hacen referencia al tiempo de contacto con

²¹ YAIMA HERNÁNDEZ, Beltrán, *La quitina y la quitosana, polisacáridos animales de gran importancia*, 2006, <http://www.monografias.com/trabajos53/quitina-quitosana/quitina-quitosana.shtml>

²²Idem.

el medio a ser aplicado. Estudios y ensayos acerca de las aplicaciones del quitosano respaldan la importancia de su aspecto físico:

“Hay que tomar en cuenta ciertos aspectos del quitosano, ya que tanto la capacidad como la velocidad de adsorción dependen de si el quitosano está en polvo, en forma de hojuelas o de películas [...]. La temperatura, la velocidad de agitación, el tiempo de contacto del quitosano con la solución del metal también influyen sobre los resultados reportados.”(Rinaudo, 2006)²³

2.11. Aplicaciones del quitosano

Debido a bajo índice de toxicidad, abundancia en el medio ambiente, su composición y estructura, del quitosano, además de su particularidad de asociarse o reaccionar con ciertas sustancias; a permitido que el hombre lo aproveche bien, desde que descubrió y desarrolló al quitosano, en varias partes del mundo.

“Todas estas características han permitido desarrollar numerosas aplicaciones, [...] propiedades terapéuticas que son aprovechadas en Europa, Asia, Australia, USA y Cuba. Debido a sus características funcionales y a su inocuidad se ha utilizado en la industria [...] en el tratamiento de aguas residuales y en procesos de purificación de aguas potables [...] y como plástico biodegradable.”(Mármol, Gutiérrez, Páez, Ferrer, & Rincón, 2006)²⁴

Su capacidad de secuestrar iones metálicos de transición y post-transición resulta de utilidad en la descontaminación de residuales industriales; sin embargo éste carácter poliónico también le ha servido como punto de partida en ampliar su campo de aplicación como lo han sido las ciencias médicas, biotecnología, tecnología de alimentos, entre otras: “se puede utilizar [...] como soporte para la inmovilización de enzimas, aplicaciones en la agricultura; es un excelente formador de fibras, películas y membranas, además de poderse preparar en forma de micro esferas y micro cápsulas;

²³ RINAUDO, Marguerite, *Chitin and Chitosan: Properties and application*, 2006, www.sciencedirect.com

²⁴ MÁRMOL, Zulay; Gutiérrez, Edixon; Páez, Gisela; Ferrer, José; Rincón, Marisela, *Desacetilación termo alcalina de Quitina de conchas de camarón*, 2006, <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/904/90440203.pdf>

además la reactividad que le confieren sus grupos $-NH_2$ y $-OH$ permiten la preparación de muchos derivados.”(Rinaudo, 2006)²⁵

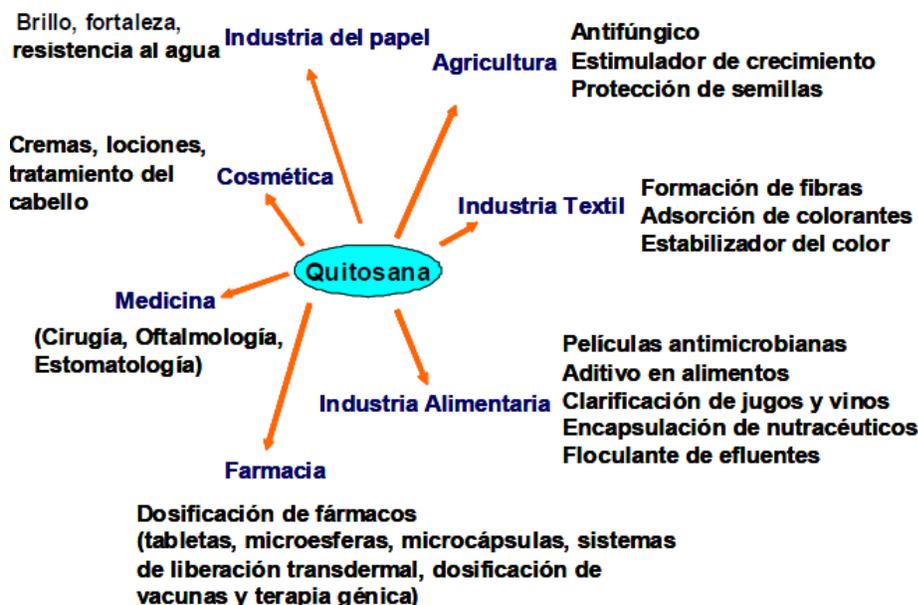


Ilustración 4. Algunas aplicaciones del quitosano en diversos campos
Fuente: Peniche Covas, Estudios sobre la Quitina y Quitosano, 2006

2.11.1. Biomedicina

Ha sido ensayado para múltiples aplicaciones biomédicas simple o superficiales, como en el proceso de cicatrización de heridas, lesiones por quemaduras y recuperación de lesiones cutáneas; estos efectos han permitido que se aplique en procesos de curación de enfermedades más complejas y otros procesos médicos como “membrana de hemodiálisis, suturas biodegradables, sustituyentes artificiales de la piel, liberación de insulina, transporte de agentes anti cancerígenos, tratamiento de tumores, control del virus del SIDA”(Lárez Velásquez, 2003)²⁶, “trasporte de genes no víricos, [...] hacer transfección de las células malignas del cáncer de pecho.(Chitosan, 2010)²⁷

²⁵ RINAUDO, Marguerite, *Chitin and Chitosan: Properties and application*, 2006, www.sciencedirect.com

²⁶ LÁREZ VELÁSQUEZ, *Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos*, 2003, <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ABR03/Cristobal2003.pdf> 2003)

²⁷ WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, 2001, <http://es.wikipedia.org/wiki/Chitosan>

Así mismo como ocurre con la quitina, fuente del quitosano, es posible introducir a éste polímero dentro de ciertos materiales médicos, que potencializan sus capacidades antisépticas, curativas y regenerativas, lo cual es respaldado:

“Se ha desarrollado un procedimiento para obtener materiales de curación con propiedades cicatrizante y antiséptica; el mismo consiste en recubrir con quitosano hilos quirúrgicos y gasas, en los cuales se introducen antibióticos.” (Rinaudo, 2006)²⁸

| Microorganismo | Actividad | |
|--|----------------|--------------|
| | Hilo/Quitosano | Hilo Búlgaro |
| Escherichiacoli** | 16+-6 | 9+-1 |
| Estafilococo aureo** | | Resistente |
| Pseudomona** | 38+-8 | 2 |
| Estafilococo aureo*** | 17+-5 | 2 |
| Klebsiella*** | 19+-2 | 3+-1 |
| Enterobacter*** | 10+-6 | 7+-4 |
| Proteusmirabilis*** | 12+-1 | Resistente |
| Proteusvulgaris*** | 19+-2 | 11+-1 |
| Proteusmorgaeni*** | 8+-3 | Resistente |
| Proteusreactgeri*** | 17+-1 | 4 |
| <p>* Expresada en milímetros de un extremo a otro de la zona de inhibición del crecimiento del microorganismo en medio de cultivo agar, en dirección perpendicular al eje del hilo.</p> <p>** Cepa de referencia internacional</p> <p>*** Cepa salvaje</p> | | |

Tabla 4. Actividad frente a varios microorganismos, de hilos de sutura con quitosano y sulfato de estreptomicina en comparación con un hilo antimicrobiano búlgaro.

Fuente: Rinaudo, *Chitin and Chitosan: Properties and application*, 2006

2.11.2. Biotecnología

El quitosano actúa en la inmovilización de enzimas, en lechos para bio-reactores, en la separación de proteínas, en bio-sensores, en recubrimientos celulares, inmovilización celular y en la producción proteínas de única célula.

²⁸ RINAUDO, Marguerite, *Chitin and Chitosan: Properties and application*, 2006, www.sciencedirect.com

2.11.3. Agricultura y operaciones post cosecha

En la agricultura moderna se hace cada vez más generalizado el uso del quitosano asociado a composiciones de fertilizantes protectores de semillas y plantas, con el fin de lograr incrementar los rendimientos de los cultivos, debido a su excelente capacidad de formación de películas, bio-compatibilidad, no toxicidad y efecto anti fúngico.

Una aplicación potencial del quitosano en la agricultura, está en la encapsulación de embriones para preparar semillas artificiales; puede encapsularse conjuntamente con los componentes nutrientes, factores de crecimiento de las plantas, fungicidas, etc., formando una matriz protectora.

“Encuentra un gran potencial como bio-estimulante ya que promueve la germinación y crecimiento de las plantas, además de aumentar su rendimiento. Un estudio con plantas de tomate de invernadero mostraron un aumento del 12% en la producción cuando fueron tratadas con quitosano.” (SODIM, 2008)²⁹

La aplicación de quitosano induce en los mecanismos de defensa de la planta convirtiéndolo en una herramienta muy eficaz para el control de plagas. Protege las partes tratadas de la planta del ataque de bio-antagonistas como hongos, insectos y nematodos; esto se logra por inducción de una barrera física en semillas y raíces, así como también mediante los siguientes mecanismos:

- Activación de genes de resistencia.
- Activación de proteínas asociadas a respuestas de resistencias.

Esto confiere a la planta mayor tolerancia a problemas sanitarios de raíz y cuello de la planta aumentando la vitalidad de las células del huésped y acelerando la degradación de las paredes celulares de hongos.

²⁹ SODIM, *Evaluation d' un procédé de coagulation – floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles*, 2008, http://www.sodim.org/pdf/AutresEspecies/710,149_Chitosane_2.pdf

“Estimula a las células vegetales a producir compuestos bioquímicos que fortalecen la pared celular, mejorando significativamente la resistencia a situaciones de estrés, sequía, excesos de humedad, trasplantes y heladas. Se desencadena un aumento en la masa radicular, lo que se traduce en un aumento en la velocidad de crecimiento y mayor vigor.” (Viñán Murillo, 2005)³⁰

Desde un punto de vista ambiental, el uso de este biopolímero es bastante aceptable como ayuda para reducir el uso de pesticidas y fertilizantes químicos, dos tipos de sustancias que causan impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana.

2.11.4. Tratamiento de aguas residuales

Tiene propiedades que le permite unirse a algunos metales, con una afinidad mayor o menor y variable en función del pH, fuerza iónica y presencia de otros metales. Varias tecnologías ya hacen uso de estas propiedades para descontaminar aguas residuales utilizando membranas de gel, la ultrafiltración con complejos de quitosano, ósmosis inversa, nano filtración, vaporación, coagulación – floculación, entre otros.

Varios estudios demuestran que el quitosano es un coagulante y floculante eficaz en el tratamiento de aguas residuales industriales, con reducciones del 70 al 98% del material suspendido, y del 55-80% de la demanda química de oxígeno.

“Las investigaciones sobre la bioabsorción de metales señalan que [...]el empleo de hongos hace posible recuperar entre 96% a 98% de oro y plata. También se ha demostrado que cepas de **Thiobacillus** son capaces de acumular plata. [...]En los hongos, la adsorción de metales se encuentra localizada en las moléculas de quitosano, presentes en la pared celular.”(Guerrero Rojas, 2006)

En la actualidad las partículas coloidales, como las proteínas y aceites se extraen con una precipitación química de la coagulación con sulfato de aluminio o de cloruro de poli aluminio, dos coagulantes eficaces y baratos. Sin embargo, el uso de sales de aluminio

³⁰ VIÑÁN MURILLO, Oscar Fabián, *Aprovechamiento de residuos de camarón y cangrejo, para obtener quitina, quitosana y proteína con fines farmacéuticos*, Tesis, 2005, Riobamba, Ecuador.

puede causar aumento en el contenido de aluminio en el agua potable y por ende generar un impacto considerable a largo plazo sobre la salud humana.

Se ha demostrado una relación entre las concentraciones de aluminio en el agua y el riesgo de contraer la enfermedad de Alzheimer. (Lárez Velásquez, 2003) El aluminio también puede tener impactos negativos sobre el medio ambiente natural si se encuentran en concentraciones excesivas. (SODIM, 2008)³¹

El proceso de coagulación-floculación mediante la adición de quitosano se utiliza actualmente en la mitad de los casos de tratamiento de aguas residuales en Japón, y en diversas proporciones, en algunos otros países asiáticos. Sin embargo, en América del Norte, su uso es prácticamente inexistente. El quitosano aparece como una alternativa viable para la eliminación de la materia suspendida debido a su no impacto a la salud humana y a los ecosistemas a largo plazo para la salud.

2.11.5. Industria Alimentaria

2.11.5.1. Como aditivo en los alimentos

Por sus propiedades como espesante, gelificante y emulsificante se utiliza como mejoradores de la textura, también se emplean como estabilizantes del color, como agente que previene la precipitación en el vinagre, como aditivo con características nutricionales, como aditivo para la alimentación animal.

2.11.5.2. Envoltura y recubrimiento protector de alimentos

El quitosano se puede adicionar como cubriente de frutos, ya que además de recubrirlo lo protege del medio ambiente, tiene propiedades antimicrobianas y retarda su respiración. Los films con quitosano son resistentes, duraderos y flexibles con propiedades mecánicas similares a los polímeros comerciales; su uso en films comestibles puede favorecer la protección de la vida salvaje ya que aunque sean ingeridos por algunos animales pueden ser fácilmente degradados por enzimas existentes

³¹ SODIM, *Evaluation d' un procédé de coagulation – floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles*, 2008, http://www.sodim.org/pdf/AutresEspèces/710,149_Chitosane_2.pdf

en el estómago de algunos de éstos. También se emplean junto con otros elementos en recubrimientos para frutas, retrasando el envejecimiento, disminuyendo la oxidación, las pérdidas por transpiración y protegiendo frente al ataque de hongos.

“La acción antimicrobiana la realiza privando a los microorganismos de iones vitales como el cobre, bloqueando o destruyendo la membrana, filtrando constituyentes intracelulares y formando complejos polielectrolíticos con polímeros ácidos y células de superficie.”(SODIM, 2008)³²

Actualmente se lleva a cabo ciertos experimentos para mejorar las características del quitosano como película comestible ya que con el simple tacto o la saliva comienza a degradarse;esto es un problema porque limita sus aplicaciones,por ellos se le ha adicionado ácidos grasos y surfactantes que le darán otras propiedades físico-químicas y mecánicas.

“Cuando se agrega plastificante al quitosano se obtiene propiedades mecánicas como la de los materiales que se utilizan en la cocina para envolver alimentos. La ventaja de esta película es que se degrada de forma rápida, mientras que las otras tardan cientos de años en hacerlo por derivarse del petróleo.”(Viñán Murillo, 2005)³³

En Ecuador es desconocida la tecnología de empaques comestibles, tanto en su capacidad de conservar los alimentos como los procesos de obtención. De la misma manera los materiales descartables de los alimentos tienen una gran incidencia en la contaminación del medio ambiente.

2.11.5.3. En procesos industriales alimenticios

Sirve como agente purificador del azúcar, clarificador en industrias de bebida, como finalizador en zumos y coagulación del queso. En combinación con la bentonita,

³² SODIM, *Evaluation d' un procédé de coagulation – floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles*, 2008, http://www.sodim.org/pdf/AutresEspèces/710,149_Chitosane_2.pdf

³³ VIÑÁN MURILLO, Oscar Fabian, *Aprovechamiento de residuos de camarón y cangrejo, para obtener quitina, quitosana y proteína con fines farmacéuticos*, Tesis, 2005, Riobamba, Ecuador.

gelatina, gel de sílice, la cola de pescado, u otros agentes ligantes se emplea en la clarificación del vino y de la cerveza. “También ha sido utilizado para la coagulación de caseínas de leche y producción de quesos de bajo contenido calórico.”(Quitina, 2010)³⁴

2.11.6. Perspectivas futuras en el uso del quitosano

A pesar del gran número de usos potenciales existentes y el considerable progreso realizado en la investigación del quitosano, aún existe poca capacidad de las industrias para proveer la materia prima; de manera que se desarrolle diversas utilidades y aplicaciones. En la actualidad la tendencia de los proveedores de quitosano están dirigiendo su aplicación a la dietética y biomédica, restando importancia de su aplicación a la utilización para el empaquetado de alimentos y otros productos, con el que se podría reducir el volumen de desechos procedentes de envoltorios plásticos, favoreciendo la protección de la vida salvaje.

³⁴ WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, 2001, <http://es.wikipedia.org/wiki/Quitina>

3. CAPÍTULO III CONTAMINACIÓN

3.1. Definición

La contaminación es el resultado de la adición de sustancias provenientes de las actividades antropogénicas, hacia un medio natural; dicha adición altera el funcionamiento normal del medio y sus componentes, generando un desequilibrio con efectos negativos sobre los seres vivos involucrados.

“La contaminación es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño [...] en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. [...] Se genera como consecuencia de la actividad humana.” (Wikipedia, 2010)³⁵

El medio ambiente tiene la capacidad de auto depurarse, sin embargo, cuando la adición de los contaminantes sobrepasa esta capacidad de autodepuración del medio, se considera contaminación.

Los contaminantes se pueden presentar en diferentes estados, sólido, líquido o gaseoso, por lo tanto pueden afectar a todos los componentes de los medios naturales como el suelo, agua, aire, seres vivos e inertes.

El efecto contaminante no siempre es generado por agentes de naturaleza inorgánica, también se puede dar por aquellos de origen orgánico procedentes de actividades como agricultura, ganadería, alimentación; dando como consecuencia, para el caso de medios acuáticos, la eutrofización de las aguas receptoras de éstos contaminantes.

La contaminación tomó un crecimiento alarmante a raíz de la revolución industrial, hecho que se originó por la necesidad de desarrollar la producción para cubrir las necesidades por la creciente población que demandaba de más servicios y productos. “El aumento continuo de la población, su concentración progresiva en grandes centros

³⁵ WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, 2001, <http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n>.

urbanos y el desarrollo industrial ocasionan, día a día, más problemas al medio ambiente conocidos como contaminación ambiental.”(Wikipedia, 2010)³⁶

No siempre el hombre es el único generador de contaminación, la naturaleza también ha sido protagonista de eventos contaminantes. Desde sus inicios la Tierra ha tenido etapas de autorregulación dando lugar a eventos extraordinarios, tales como erupciones volcánicas o terremotos de gran magnitud que afectan grandes extensiones de terreno y conjuntamente a sus componentes bióticos y abióticos.

“Contaminación natural: es la que existe siempre, originada por restos animales, vegetales y por minerales y sustancias que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos.”(Frers)³⁷

Los efectos de la contaminación generalmente se manifiestan por la generación y propagación de enfermedades, desaparición de especies, alteración de los ecosistemas y sus componentes como agua, suelo, aire, biota. Estas manifestaciones se pueden presentar en corto o largo plazo, según la intensidad en que se genere el efecto contaminante.

3.2.Causantes de la contaminación

Podemos nombrar de manera generalizada tres tipos de contaminantes.

3.2.1. Contaminantes químicos

Podría considerarse como los mayores generadores de contaminación, debido al gran número de elementos químicos existentes, y su vez, el sinnúmero de compuestos que cada uno de dichos elementos puede producir. La intensidad de su efecto contaminante se debe a que las industrias manufactureras producen la mayor parte de productos de uso diario, requiriendo grandes cantidades de químicos para sus labores, por lo tanto los desechos generados por dichas instalaciones van a tener una elevada concentración de

³⁶ WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, 2001, http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_ambiental

³⁷ FRERS, Cristian, *Los problemas de las aguas contaminadas*, <http://www.monografias.com/trabajos23/aguas-contaminadas/aguas-contaminadas.shtml>

productos químicos. Estos contaminantes forman un gran grupo de productos tóxicos minerales, ácidos, los álcalis, disolventes orgánicos, detergentes, plásticos, los derivados del petróleo, pesticidas, detergentes, entre otros.

3.2.2. Contaminantes físicos

Son aquellos que, con tan solo su presencia en un ambiente, alteran la calidad de sus componentes; se caracterizan por un intercambio de energía entre persona y ambiente en una dimensión y/o velocidad tan alta que el organismo no es capaz de soportarlo.

“Se refieren a perturbaciones originadas por radioactividad, calor, ruido, efectos mecánicos, etc.”(Monografias.com)³⁸

3.2.3. Contaminantes biológicos

Pueden ser organismos, restos de organismos o desechos provenientes del interior de organismos; son mejor conocidos como agentes biológicos que al penetrar en el ser humano ocasionan enfermedades infecciosas o parasitarias.

Debido al tamaño microscópico de los agentes biológicos, su movilización puede darse sin dificultad a través del agua, suelo o aire, para luego llegar a entrar en contacto con poblaciones de seres vivos, ocasionando contaminación.

Los agentes contaminantes de este grupo pueden ser bacterias, hongos, virus, protozoarios, parásitos, excrementos, esporas, residuos en descomposición, la sangre, desechos de fábricas de cerveza, de papel, desagües, y muchos otros más de origen orgánico.

³⁸ DANILO, Monografias.com, *Gestión Ambiental*, <http://www.monografias.com/trabajos71/gestion-ambiental/gestion-ambiental2.shtml>

3.3. Tipos de contaminación

3.3.1. Contaminación atmosférica

Es la alteración de la atmósfera provocada por la adición de gases tales como dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, azufre, provenientes de procesos industriales, automóviles, calefacciones residenciales; y, gases nocivos como el cloro e hidrocarburos resultado de procesos productivos que no han realizado combustión completa.

“Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.”(Wikipedia, 2010)³⁹

La contaminación atmosférica puede tener dos tipos de fuentes:

- Fuente fija: es aquella que emite sus gases en un sitio específico, como industrias o centrales termoeléctricas
- Fuente móvil: es el parque automotor, emite sus gases estando en movimiento.

3.3.2. Contaminación del suelo

La contaminación del suelo es la presencia de compuestos químicos generados por el hombre, provocando alteración al ambiente natural del suelo. Los compuestos químicos más comunes incluyen derivados del petróleo, pesticidas y metales pesados.

Grandes extensiones de plantaciones requieren de la aplicación de plaguicidas y herbicidas en grandes volúmenes, el suelo entra en contacto directo con estos agentes que inmediatamente se filtran por acción de la gravedad y permanecen por tiempo indefinido en la composición del suelo.

³⁹ WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, 2001, http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica

Los oleoductos son propensos a averías o accidentes que pueden derivar en el derramamiento del petróleo. Debido a que este tipo de instalaciones transportan grandes volúmenes de crudo, cualquier tipo de falla mecánica puede generar la contaminación sobre grandes extensiones de suelo.

Actividades como la minería utilizan compuestos químicos muy nocivos para el ambiente como el cianuro o el plomo y que debido a su gran peso molecular pueden permanecer durante mucho tiempo en el suelo, haciéndolo inservible y perjudicial para la salud de los seres vivos.

La basura que se deposita en la superficie genera grandes problemas para el desarrollo normal de todas las especies, incluso para aquellas que viven en el agua, debido a la acción del viento los desechos sólidos también pueden llegar a ecosistemas marinos.

3.3.3. Contaminación hídrica

Como es de conocimiento general el agua tiene la versátil propiedad como disolvente universal, sin embargo esta capacidad ha ocasionado que sea más susceptible a la adición de sustancias ajenas a su composición natural, dando como consecuencia la contaminación hídrica.

“Según la OMS [...], el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúne las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural.”(Wikipedia, 2010)⁴⁰

La contaminación del agua causada por las actividades humanas se comienza a producir desde los primeros intentos de industrialización, para luego convertirse en un problema tan habitual. Debido a que el agua se encuentra cubriendo las tres cuartas partes de la superficie terrestre, hace que la contaminación hídrica sea considerada como un problema generalizado.

⁴⁰WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, Contaminación hídrica, 2001, http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_h%C3%ADrica

El curso natural que cumple el agua durante su ciclo, permite que la concentración de los contaminantes de origen natural, y en parte los de origen inorgánico, permanezca en niveles tolerables para la naturaleza y sin afectar a los seres vivos.

“En los cursos de agua, los microorganismos descomponedores mantienen siempre igual el nivel de concentración de las diferentes sustancias que puedan estar disueltas en el medio. Este proceso se denomina *auto depuración del agua*. Cuando la cantidad de contaminantes es excesiva, la autodepuración resulta imposible.”(Wikipedia, 2010)⁴¹

Esta capacidad de auto depuración ha ido en detrimento debido a la creciente demanda de agua para actividades de recreación, producción, limpieza, saneamiento, entre otras; en las que intervienen grandes volúmenes de compuestos químicos de estructura compleja, los cuales son difíciles de eliminar de manera natural por la naturaleza.

La acumulación de contaminantes en los lagos, ríos y mares provoca diferentes efectos en sus características físicas, químicas y biológicas de diferente manera causando una alteración o desequilibrio de este recurso. En casos como presencia de algunas partículas sedimentables o de colores, sus efectos son limitados o de pocas consecuencias y en otros casos como el cambio de temperatura o putrefacción de materia orgánica causa efectos dañinos transitorios pero severos.

La calidad del agua potable ha sido un factor determinante del bienestar humano. El agua insalubre contaminada por fuentes naturales o humanas sigue causando grandes problemas a las personas que se ven obligadas a usarla.

Actualmente la mayor preocupación sobre la seguridad del agua es la presencia de productos químicos orgánicos e inorgánicos y metales pesados procedentes de las actividades industriales, agrícolas y de la esorrentía urbana.

La contaminación causada por los efluentes domésticos e industriales, la deforestación y las prácticas del uso del suelo inadecuadas, está reduciendo notablemente la

⁴¹ WALAS Jimmy, Enciclopedia libre, Contaminación hídrica, 2001, http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_h%C3%ADrica

disponibilidad de agua utilizable. En la actualidad, una cuarta parte de la población mundial, que principalmente habitan en los países en desarrollo sufre escasez severa de agua limpia; es posible que en el mundo haya más de diez millones de muertes al año producto de enfermedades hídricas.

3.3.3.1.Principales contaminantes del agua

Existen dos formas principales de contaminación del agua; la *Contaminación Natural*; asociada a su ciclo natural mediante la cual entra en contacto con ciertos contaminantes como sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión que se vierten en la corteza terrestre, la atmósfera y en las aguas, como resultado del equilibrio dinámico de la tierra, actividad geofísica y ciclo natural del agua. La otra forma es la *Contaminación Artificial* que resulta de las actividades y presencia del hombre, es quizá la más importante y perjudicial a la vez, tanto para el humano como para la naturaleza.

Las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy concretos. La contaminación de origen humano, en cambio, se produce en zonas concretas y la mayor parte de los contaminantes de este origen son mucho más peligrosos que origen natural.

La contaminación tiende a concentrarse en los lugares próximos a las zonas habitadas y más industrializadas.

La clasificación de los contaminantes que se puede presentar el agua puede ser de forma muy diversa. Por ejemplo en base a su naturaleza física, química o biológica de los agentes se clasifica en:

- **Agente Físico:** calor
- **Compuestos químicos inorgánicos:** sales (aniones y cationes), ácidos y bases, elementos tóxicos (metales y no metales), elementos radiactivos, gases y especies minerales no disueltas (sílice, arcillas...)
- **Compuestos Químicos Orgánicos:** hidratos de carbono, aminoácidos, proteínas, aceites y grasas, hidrocarburos, jabones, detergentes, pesticidas y

policlorobifenilos (PCBs) y otros compuestos orgánicos (Fenoles, THMs – Trihalometanos, HAPs - Hidrocarburos aromáticos policíclicos, Clorofenoles, Nitrosaminas).

- **Bionutrientes:** compuestos nitrogenados y órgano-nitrogenados, compuestos fosforados y organofosforados
- **Microorganismos:** bacterias, virus, hongos y algas

3.3.3.2. Fuentes de contaminación hídrica

Las principales fuentes de contaminación acuática se han agrupado de acuerdo con su procedencia y pueden clasificarse en:

- Urbanas o domésticas
- Aguas Industriales
- Aguas agrícolas o agropecuarias

3.3.3.2.1. Aguas urbanas o domésticas

Esta contaminación está constituida por aguas residuales de los hogares, públicos y los establecimientos comerciales, además otro componente que forma parte de esta polución son los desechos sólidos generados por la sociedad, los mismos que son botados en ríos y quebradas, o transportados por la escorrentía urbana hacia el agua.

Una de las mayores fuentes de contaminación de este recurso son las poblaciones de urbes, debido a los grandes volúmenes de agua residuales domesticas que producen, y son vertidas a los cuerpos de agua sin un adecuado pre-tratamiento.

“La facilidad del manejo de las aguas residuales dependerá del tipo de fuente de que se trate, considerándose controlable las conducidas por sistemas de alcantarillado separados y no controlables a todas aquellas que no estén conectadas al sistema” (Raudel Ramos Olmos, 2003)⁴²

⁴² RAUDEL RAMOS Olmos, Rubén Sepúlveda Marques, Francisco Villalobos Moreto, *El agua en el medio ambiente: Muestreo y Análisis. 2003, Plazo y Valdez S.A, California, Estados Unidos.*

Por su gran tamaño, las zonas residenciales, centros comerciales, edificios institucionales y espacios recreativos constituyen las principales fuentes de generación de aguas residuales domésticas.

Años atrás, el tratamiento de estas aguas se enfocaba únicamente en disminuir las materias que demandan oxígeno, pero ahora, se hace mayor énfasis en la eliminación de los desechos sólidos también presentes.

3.3.3.2.2. Aguas industriales

Las características de las aguas residuales industriales son originadas por el desarrollo de actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo para la población.

La actividad industrial generalmente está integrada por una variedad muy amplia de procesos; por tal razón los grandes volúmenes de efluentes provenientes de estas actividades tienen diferente naturaleza fisicoquímica, incluso entre industrias con la misma línea de producción.

En la actualidad muchas de estas industrias descargan sus aguas residuales sin ningún tratamiento a los cuerpos de agua, quienes son receptores de este residuo.

“Los orígenes de la contaminación del agua en la mayoría de estos giros industriales pueden describirse en un sentido amplio como cualquier acción o proceso que utilice agua, y debido a este uso degrade su calidad. Esta degradación puede ser pequeña, por sola adición de calor o puede ser muy compleja y producir contaminación importante con productos químicos, materias primas o productos terminados.” (Raudel Ramos Olmos, 2003)⁴³

Los contaminantes más comunes de las descargas industriales son las siguientes:

- Agentes químicos para enfriamiento

⁴³RAUDEL RAMOS Olmos, Rubén Sepúlveda Marques, Francisco Villalobos Moreto, *El agua en el medio ambiente: Muestreo y Análisis. 2003, Plazo y Valdez S.A, California, Estados Unidos.*

- Purga de lodos acumulados en torres de enfriamiento
- Lavado de materia prima
- Compuestos químicos usados en lavado de equipo
- Desechos de materia orgánica generados durante el proceso de industrialización
- Metales pesados que se generan en algunos procesos de transformación.

Existen tres opciones para controlar estos vertidos, uno es el control dentro de la planta misma en donde se generan las aguas residuales, otra manera de controlar los efluentes es tratándolos previamente antes de descargar en el sistema de depuración urbana; una tercera opción es la de depurar por completo en la planta para luego ser reutilizadas o vertidas en cuerpos de agua directamente.

3.3.3.2.3. Aguas agrícolas o agropecuarias

Generalmente son los efluentes provenientes de criaderos y engorde de ganado bovino, porcino, etc., que contienen excrementos, y las aguas de retorno de los campos agrícolas, que contienen residuos de diversas sustancias químicas usadas en la agricultura.

En el sector agrícola es común y está en constante crecimiento el uso de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes; para el control de plagas y aumento de la productividad, las aguas de retorno agrícola arrastran restos de estos compuestos, además de las excretas animales, mediante escurrimientos pluviales, o en muchos de los casos por descargas directas.

Las aguas de retorno agrícola son difíciles de controlar y manejar debido a las grandes extensiones de terreno que ocupan los cultivos; en donde los restos de fertilizantes son arrastrados por la lluvia, hacia cuerpos de agua, en donde provocan un indeseable crecimiento de plantas acuáticas; provocado por los sedimentos de compuestos de fósforo y nitrógeno procedentes de la erosión de las tierras de cultivo, residuos animales y fertilizantes comerciales; a esto contribuye también los residuos animales tienen un mayor contenido de nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno. Muchos de estos efluentes además albergan organismos patógenos.

A un cuando los residuos contaminantes agropecuarios pueden eliminarse de la tierra por contención; su peligro es potencial debido a que por filtración y escorrentías pueden trasladar hacia los cuerpos de agua subterránea.

3.3.3.3.Efectos de la contaminación hídrica

Los efectos de la contaminación del agua influyen no solo a la salud humana sino también a la fauna y flora del área expuesta. Entre los efectos nocivos de la contaminación del agua en organismos, poblaciones y ecosistemas destacan los siguientes:

3.3.3.3.1. Eutrofización

Es el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema acuático, dando como consecuencia aumento de la biomasa presente en dicho medio; generalmente se produce eutrofización en los lagos debido a que son los más vulnerables a la contaminación. La eutrofización se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, generando un crecimiento anormal de las plantas acuáticas y algas, las cuales al morir se depositan en el fondo de los ríos, embalses o lagos, generando residuos orgánicos que al descomponerse consumen gran parte del oxígeno disuelto afectando así a la vida acuática y produciendo la muerte por asfixia de la fauna y flora.

Además de las aguas provenientes de la agricultura, sin previo tratamiento que provocan el fenómeno de eutrofización; son como ya se había mencionado, los vertidos urbanos domésticos que aportan considerables cantidades de nutrientes, como nitrógeno y fosforo en forma de NO_2 y P_2O_5 , procedentes de las heces fecales y productos de limpieza.

Este fenómeno origina problemas estéticos, como el cúmulo de algas desagradables a la vista, mal sabor, mal olor, agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como otros cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato de calcio.

Adicionalmente el crecimiento de algas puede afectar también al uso recreativo de embalses y lagos, a la circulación del agua en ríos, canales y obstruir los filtros de estaciones de tratamiento del agua.

Otros perjuicios ocasionados por la eutrofización en cuerpos de agua son las posibles afecciones a la salud humana como intoxicaciones, enfermedades infecciosas y crónicas, muerte.

3.3.3.3.2. Las mareas negras y los vertederos de petróleo

Las mareas negras son recubrimientos erráticos de hidrocarburos en la superficie del océano, producidos por el vertido accidental de petróleo desde barcos transportadores o instalaciones petroleras, que provocan la contaminación de aguas y playas.

3.3.3.3.3. Transmisión de enfermedades

Las bacterias patógenas representan un serio riesgo para la salud pública y es prioritario eliminarlas del agua de consumo humano, debido a que su consumo podría ocasionar graves consecuencias para la salud de cualquier población.

Entre las enfermedades que pueden ser transmitidas por el agua se encuentran el cólera, la tifoidea, la disentería, la poliomielitis, la meningitis y las hepatitis A y B. Los lugares que carecen de instalaciones de saneamiento apropiadas favorecen la rápida propagación de estas enfermedades debido a que las heces expuestas a cielo abierto contienen organismos infecciosos que contaminan el agua y los alimentos. Este peligro que se mantiene constante debe a que “con el crecimiento de las ciudades, los pobladores comenzaron a utilizar los ríos, junto a los cuales habían vivido, no sólo para abastecerse de agua y alimento, sino también para deshacerse de los desperdicios domésticos.”(FRERS)⁴⁴

⁴⁴FRERS, Cristian, *Los problemas de las aguas contaminadas*, <http://www.monografias.com/trabajos23/aguas-contaminadas/aguas-contaminadas.shtml>

Las zonas rurales, por la falta de medidas higiénicas sanitarias y por la mala práctica de defecación a campo abierto; se constituyen como una fuente de contaminación de las aguas superficiales, y de vertientes cercanas a sus poblados.

3.3.3.3.4. Contaminación por metales pesados

Cuando la mayor parte de los metales se encuentran en estado natural no representan ningún tipo de riesgo de contaminación, sin embargo su procesamiento da origen a compuestos los cuales sí pueden provocar efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana y animal.

Como es de conocimiento común, los metales y sus compuestos tienen un elevado peso molecular lo cual los convierte en contaminantes altamente peligrosos, debido a que sus efectos negativos sobre el organismo, pueden manifestarse durante el periodo de tiempo de permanencia del metal contaminante, pudiendo además provocar alteraciones definitivas aún tras su eliminación

4. CAPÍTULO IV CROMO

4.1. Generalidades

El cromo es un elemento natural presente en muchos organismos vivos e inertes, tales como rocas, animales, plantas y el suelo, y puede presentarse en varios de los estados de la materia, dependiendo de la materia que lo contenga.

Fue descubierto en 1777 en los Urales, cerca de Siberia, en forma de un mineral mezclado con selenio y plomo; siendo aislado en 1797 cuando Nicolás-Louis Vauquelin, pudo obtener cromo metálico de las muestras del mineral recibido; a partir de calentar óxido de cromo, previamente obtenido de una mezcla de crocoíta (estado natural del cromo) con ácido clorhídrico.

El origen de su nombre se debe al griego *chroma*, que significa color, ya que en estado natural el cromo y sus compuestos presentan varias coloraciones. (Lenntech BV)⁴⁵

Además es el vigésimo primer elemento más abundante presente en la corteza terrestre, pero el cromo no se encuentra en estado elemental, se debe obtener de la cromita, la cual es sometida a calentamiento en presencia de aluminio o silicio. Cerca de la mitad de la cromita del mundo se extrae de Sudáfrica, sin embargo también se extraen grandes cantidades en Kazajistán, India y Turquía.

Posee una densidad muy elevada, por lo que se considera como un metal pesado de transición; cuando se encuentra muy puro y en ausencia de oxígeno, hidrógeno o carbono es muy dúctil y maleable, permitiéndole una diversidad de aplicaciones en la metalurgia.

⁴⁵ LENNTECH BV, *Agua residual & purificación del aire Holding B.V.*, 2009, <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm#Nombre>

4.2. Usos

4.2.1. Metalurgia

De igual manera como sucede con la mayoría de los metales de transición, el cromo es utilizado en gran parte de la industria metalúrgica. Sus propiedades mecánicas le permiten formar parte del acero como aditivo y es empleado en aleaciones metálicas altamente resistentes al calor y a la corrosión; cerca del 85% del cromo producido se destina al uso metalúrgico.

En el proceso de galvanizado, forma una capa sobre la pieza metálica, facilitando la fijación de otros metales.

4.2.2. Pigmento

Debido a que los compuestos y las sales a base cromo poseen colores muy variados, son utilizados como pigmentos o colorantes, tal es el caso con el óxido de cromo Cr_2O_3 y el cromato de plomo PbCrO_4 , también conocidos como “verde de cromo” y “amarillo de cromo”, respectivamente, que sirven como pigmento para la coloración de pinturas esmaltadas y para la coloración de vidrios. El primero colorante artificial derivado del cromo fue el dicromato de potasio.

Incluso en estado natural sin refinar, el cromo posee propiedades colorantes, tal como sucedió en 1770 cuando se difundió la aplicación de la crocoita como pintura.

El cromo es utilizado, como sales a base de cromo, precisamente en el llamado proceso del “curtido al cromo” que se realiza para la preparación del cuero.

4.2.3. Otros usos del cromo

El uso del cromo y de sus compuestos, no se limita únicamente en actividades metalúrgicas y de coloración. Su elevado punto de fusión y la estabilidad de su estructura cristalina le permiten ser utilizada como refractante.

Es ampliamente conocido el uso de los compuestos del cromo, para análisis químicos; como sucede con el dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$, el cual es utilizado como reactivo químico para análisis volumétricos de cromo.

El óxido de cromo se presenta una sustancia química en estado líquido, que al ser aplicado sobre la madera, brinda protección y aumenta su tiempo de protección.

Por mucho tiempo la industria automotriz ha utilizado el cromo para dar acabados de brillo, dureza y resistencia contra la corrosión a los automóviles; sin embargo este uso se ha reemplazado paulatinamente por los plásticos.

4.3.Efectos del cromo

4.3.1. Papel biológico

En su estado de oxidación +3, el cromo es un oligoelemento esencial presente en los tejidos debido a que participa en el metabolismo de los lípidos y de los hidratos de carbono; también participa en la potenciación de la acción de la insulina.

El cromo III está presente naturalmente en vegetales, frutas, carnes, levaduras y granos, y la ingesta de tales, permite el ingreso del cromo trivalente al organismo humano. No obstante, el consumo excesivo de este elemento puede causar efectos adversos sobre la salud también.

4.3.2. Toxicidad

El cromo trivalente es inocuo para la salud de los seres vivos, ya que el mismo y sus compuestos son esenciales para tales organismos, siempre y cuando su concentración sea en pequeñas cantidades. Pero cuando el cromo se encuentra en estado de oxidación +6 genera efectos no deseados en organismo vivos y el medio ambiente. Una ingesta de unos pocos gramos ya se considera una dosis letal. Si la dosis está por debajo de la dosis letal, puede generar serias complicaciones a los tejidos afectados como los siguientes:

| Tejido afectado | Daño causado |
|-------------------------------|---|
| Piel: | Dermatitis Úlceras de la piel |
| Ojos: | Conjuntivitis |
| Tracto respiratorio superior: | Perforación del tabique nasal Sinusitis Laringitis Anosmia |
| Pulmón: | Dolor en el pecho Disnea Bronquitis |
| Gastrointestinales: | Náuseas Gastritis Úlceras Colitis |

Tabla 5. Algunas consecuencias generadas por el contacto del Cr⁺⁶ con el organismo humano
Fuente: E.R. Plunkett, Manual de toxicología industrial, 1974

También se pueden presentar problemas como:

- Debilitamiento del sistema inmune
- Daño en los riñones e hígado
- Alteración del material genético
- Cáncer de pulmón

Las personas con mayor riesgo de presentar los síntomas antes descritos, son aquellos trabajadores de industrias en donde se utiliza cromo o sus compuestos como parte de los procesos productivos; sin embargo, poblaciones humanas, ecosistemas y poblaciones de animales ubicadas en áreas de influencia indirecta, pueden verse afectadas a causa de que los efluentes y/o gases generados por las actividades de las fábricas, que contaminan fácilmente medios acuático y aéreo.

Los cultivos son una posible fuente de contaminación por cromo; las plantas también necesitan del cromo trivalente, el cual lo absorben del suelo, pero niveles altos de concentración de cromo, puede acumularse excesivamente en las plantas y ocasionar efectos negativos al consumirlos. La acidificación del suelo es un factor favorable para la captación de cromo por parte de las plantas.

5. CAPÍTULO V COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Los contaminantes presentes en el agua pueden presentar tamaños muy variados 1 μ m hasta los 1000 μ m, por ende cada tamaño tendrá comportamientos distintos a los varios procesos de purificación del agua, tal como sucede con los coloides.

Los coloides son partículas en suspensión que poseen cargas eléctricas, que provocan fuerza de repulsión entre ellas, volviéndolas partículas inestables difíciles de sedimentar. Se han reportado casos en los que los coloides tardan hasta 755 días en sedimentar, en tales situaciones conviene utilizar el proceso de coagulación-floculación.

5.1. Coagulación

Consiste en una serie de reacciones físicas y químicas originadas por la adición de un coagulante que desestabiliza las partículas suspendidas mediante la reducción de las fuerzas de separación entre ellas; el coagulante se adhiere a las paredes de las partículas, neutralizando las cargas eléctricas y originando que las fuerzas de Van Der Waals de lugar a la formación de flóculos.

El proceso de coagulación se inicia apenas el coagulante entra en contacto con el agua, y dura unas fracciones de segundo para formar los flóculos.

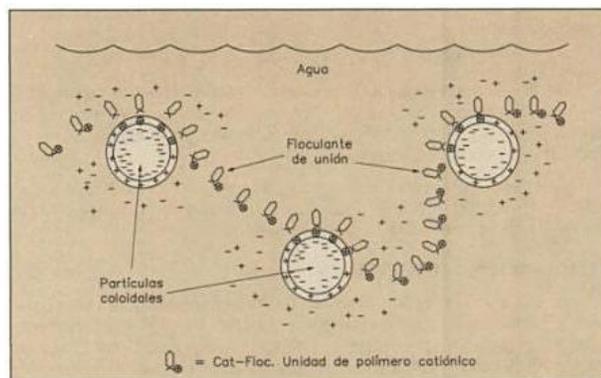


Ilustración 5. Mecanismo de coagulación entre coloides

Fuente: Miguel Rigola Lapeña, Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales, 1999.

Paralograr este proceso se utilizan sustancias químicas u orgánicas conocidas como coagulantes, los cuales tienen la capacidad para disminuir la doble capa de iones alrededor de los coloides.

5.2.Coagulante

Sustancia que causa la aglomeración de partículas finas en un precipitado de consistencia gelatinosa y que puede ser removido.

5.2.1. Coagulantes a base de sales metálicas

Son utilizados para el tratamiento de aguas provenientes del uso industrial y doméstico, pero también pueden ser empleados para el ablandamiento de aguas, eliminación de metales pesados, eliminación de aceites y grasas, eliminación de fosfatos, etc. Entre los coagulantes de este tipo se encuentran:

- Óxido de calcio
- Sulfato de hierro
- Alúmina
- Cloruro férrico

Generalmente los coagulantes más comercializados y utilizados son los fabricados a base de metales, como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, sin embargo la incorrecta manipulación de estos compuestos, puede derivar en contaminación con algunas sustancias tóxicas y reaccionar de manera adversa con las sustancias químicas añadidas, como el ozono o el cloro durante el tratamiento del agua, generando sustancias tóxicas para la salud de los usuarios y/o consumidores.(Rodríguez, Lugo, Rojas, & Malaver, 2007)⁴⁶

⁴⁶ RODRIGUEZ, J.P. Lugo, Rojas, & Malaver, *Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora*, 2007, Bogotá, Colombia.

5.2.2. Coagulantes polimerizados a base de sales metálicas

Son más utilizados en Asia y en Europa del Este; existen muchos coagulantes de este tipo, mayoritariamente hechos a base de aluminio y hierro, entre los cuales se encuentra el cloruro de poli-aluminio, muy utilizado para el tratamiento de aguas.

5.2.3. Coagulantes a base de polímeros sintéticos

Tienen un elevado peso molecular y pueden ser aniónicos, catiónicos o no iónicos; la intensidad de su carga iónica depende del grado de ionización del polímero que a la vez depende de: las cargas individuales de los grupos funcionales, el grado de copolimerización y la cantidad de grupos funcionales que han sido sustituidos.

Este tipo de coagulantes aumentan la viscosidad de la solución sobre la que se aplica y tienen una tasa muy baja de difusión, por lo tanto es necesario inducir su difusión para una mejor dispersión de estos polímeros. Los coagulantes son utilizados para la neutralización, emulsión o creación de puentes de enlace entre los coloides; y se pueden usar de manera individual o complementarse con los coagulantes a base de sales metálicas.

La eficacia de su aplicación depende de parámetros como:

- Concentración del polímero
- Peso molecular del polímero
- Densidad del polímero
- Carga eléctrica del polímero
- Peso molecular del polímero
- Características del efluente a tratar
- Parámetros físicos durante el tratamiento del efluente (pH, dosificación, etc.)

5.2.4. Coagulantes de origen natural

Este tipo de coagulantes han llegado a mostrar hasta rendimientos de coagulación similares a los de origen sintético; sus interesantes características como bio-degradabilidad,

compatibilidad ambiental, inocuidad, diversidad, eficiencia, entre otras, las vuelven una alternativa versátil desde el punto de vista ambiental.

Dentro de este grupo de coagulantes podemos mencionar:

- Semillas de plantas
- Floculantes minerales (sílice activada)
- Almidones
- Alginatos
- Polisacáridos naturales (celulosa, gomas, quitosano, etc.)

Históricamente, los coagulantes de este tipo han sido utilizados mucho antes de que aparezcan los coagulantes sintéticos. Manuscritos hindús reportan el uso de semillas de Nirmali (Nombre común para *Strychnos potatorum*), utilizadas para clarificar el agua superficial, hace más de 4.000 años atrás. (SODIM, 2008)⁴⁷

Muchos países en vía de desarrollo no ven de manera convincente el uso de este tipo de coagulantes como alternativa para el tratamiento de aguas; sin embargo, actualmente en muchos países se han realizado investigaciones con polímeros de origen orgánico utilizados como coagulantes. “Dentro de algunos coagulantes alternativos empleados en América Latina, están las semillas de la planta *Moringa Oleífera* usada como coagulante primario en la clarificación de aguas. Son diversos los coagulantes naturales (papa, cactus, maíz, trigo y yuca) que han sido utilizados en la clarificación de agua, dentro de la extensa gama de productos estudiados hasta la actualidad en el mundo.”(Rodríguez, Lugo, Rojas, & Malaver, 2007)⁴⁸

5.3.Etapas de la coagulación

El proceso de la coagulación consiste en tres etapas:

⁴⁷ SODIM, *Evaluation d' un procédé de coagulation – floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles*, 2008, http://www.sodim.org/pdf/AutresEspèces/710,149_Chitosane_2.pdf

⁴⁸ RODRIGUEZ, J.P. Lugo, Rojas, & Malaver, *Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora*, 2007, Bogotá, Colombia.

- a) Desestabilización de la estructura molecular mediante la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides con el ión coagulante; en ocasiones es preciso modificar el pH para facilitar el proceso de coagulación.
- b) Formación de flóculos del coagulante, con carga opuesta al de las partículas contaminantes.
- c) Adsorción de estos contaminantes, por los flóculos del coagulante.

5.4.Floculación

Es un proceso de agitación suave y continúa del agua coagulada, con el propósito aglutinar las partículas más pequeñas en flóculosde mayor tamaño y mayor peso, capaces de ser removidos fácilmente mediante sedimentación o filtración.

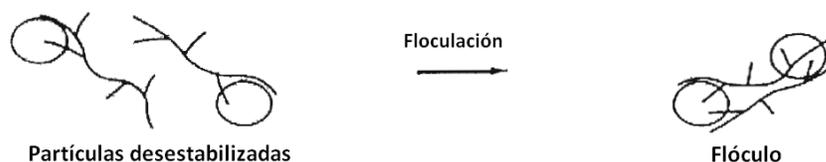


Ilustración 6. Proceso de formación de flóculos

Fuente: Assaad, Étude du processus de coagulation – floculation du systeme motmorillonite – Chitosane dans l’elimination de metaux de transition, 2006

La velocidad y el tiempo influyen significativamente en el desarrollo de este proceso, así la velocidad de mezcla es muy rápida o si el mezclado dura demasiado tiempo, los flóculos pueden llegar a desestabilizarse y romperse, permitiendo que los coloides se liberen, haciendo más difícil volver a aglomerar tales partículas.

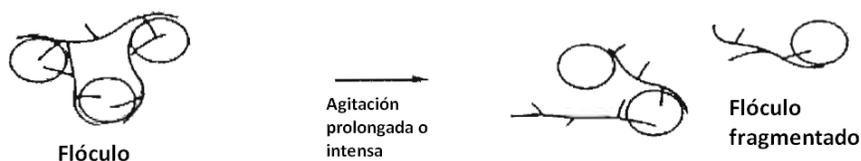


Ilustración 7.Ruptura de los flóculos formados, debido a una agitación prolongada o a velocidades muy intensas

Fuente: Assaad, Étude du processus de coagulation – floculation du systeme motmorillonite – Chitosane dans l’elimination de metaux de transition 2006

5.5. Sistemas de floculación

Los sistemas utilizados para efectuar la floculación son esencialmente de dos tipos:

- Hidráulicos
- Mecánicos

5.5.1. Sistemas hidráulicos

El flujo del agua está influenciado por la gravedad y mecanismos como barreras, tabiques o cámara de floculación conectadas entre serie.

Estetipo de sistemas son más utilizados en plantas de tratamiento de agua de pequeña magnitud debido a su bajo costo.

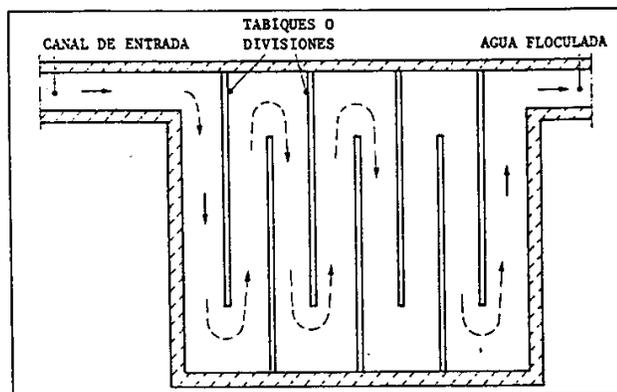


Ilustración 8. Sistema de floculación mecánico con tabiques divisorios
Fuente: S/A

5.5.2. Sistemas mecánicos

En estos sistemas la gradiente de velocidad requerido es proporcionado por la agitación lenta que realizan los dispositivos como paletas o rastrillos, lo cuales son accionados por un motor.



Ilustración 9. Sistema de floculación mecánica utilizado en una planta de tratamiento de aguas
Fuente: Thiago de Mello, Prueba de Tratabilidad

5.6. Prueba de jarras

Este ensayo intenta simular las condiciones en las cuales coagula el agua en una planta de tratamiento, permitiendo determinar el tipo y dosificación del coagulante y floculante, pH óptimo, tiempo y velocidad de mezclado, para así estimar el mínimo o la dosis ideal de coagulante requerida para alcanzar una calidad óptima en el agua a tratar. Además sirve para determinar si un efluente puede ser tratado de manera rentable y con la eficiencia deseada mediante el proceso de floculación-coagulación.

“La prueba de jarras es uno de los principales instrumentos de trabajo en las plantas de tratamiento de agua del mundo.”(Orozco V. & Maldonado D., 1979)⁴⁹

El procedimiento consiste en colocar agua residual en vasos de precipitación y añadir, progresivamente, diferentes cantidades de coagulante. Se somete el juego de vasos a una agitación rápida para homogeneizar el medio y, en seguida a una agitación lenta para favorecer la formación del flóculo. Luego se deja cierto tiempo los vasos en reposo y luego se analiza el agua.

Este método conlleva el ajuste del pH, selección del agente coagulante su dosis adecuada, elección de la velocidad y el tiempo de agitación de las paletas así como tiempo de reposo posterior.

⁴⁹OROZCO V., Walter; MALDONADO D., Luis, *Ayudantes de Floculación*, 1979, Cuenca, Ecuador.

La efectividad de este procedimiento, puede ser medida por medio de los parámetros establecidos por el investigador, tales como la turbidez residual del agua, la cantidad de partículas sólidas residuales o concentración del contaminante.

Este procedimiento no está estandarizado, debido a las diferentes características que presentan cada una de las aguas a tratar, así como también el gran número de variables involucradas en el proceso de coagulación.

6. CAPÍTULO VI DESARROLLO EXPERIMENTAL

6.1. Obtención del quitosano

6.1.1. Reactivos y materiales utilizados para la obtención del quitosano

- Solución de ácido clorhídrico 0,6 N (para desmineralización de las cáscaras de camarón)
- Solución de hidróxido de sodio al 1% (para desproteización de las cáscaras de camarón)
- Solución de hidróxido de sodio al 50% (para desacetilación de la quitina)
- Agua destilada
- Agitador magnético

6.1.2. Procedimiento para obtención del quitosano

El quitosano fue obtenido a partir de exoesqueletos de camarón obtenidos en restaurantes de mariscos, utilizando el método químico propuesto en el trabajo investigativo “Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón” (Hernández Cocoltzi, Águila Almanza, Flores Agustin, Viveros Nava, & Ramos Cassellis, 2009)⁵⁰, el procedimiento se detalla a continuación:

- a) Los residuos de camarón fueron separados de sus caparazones, para luego ser lavados tenazmente con abundante agua, quitando los restos orgánicos que pudieran estar presentes.
- b) Los exoesqueletos obtenidos, fueron secados en una estufa a 60-70 °C. Los exoesqueletos secos y libres de cabeza, patas y cola se sometieron a un proceso de tamizado buscando partículas con tamaños pequeños.
- c) Para llevar a cabo la desmineralización de los exoesqueletos, se pesó una cantidad del caparazón del crustáceo y se colocó en un vaso de

⁵⁰ HERNÁNDEZ COCOLETZI, H.; ÁGUILA ALMANZA, E.; FLORES AGUSTIN, O.; VIVEROS NAVA, E. L.; RAMOS CASSELLIS, E, *Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón*, 2009, p57 al 60.

precipitación conteniendo una solución de HCl 0.6N en una relación 1:11 sólido-líquido, utilizando el agitador magnético se ajustó la temperatura a 30°C y tiempo de agitación de 3 horas.



Ilustración 10. Desmineralización de las cáscaras de camarón

Fuente: Los Autores

- d) Posteriormente, se realizó la desproteínización de la muestra con una solución de NaOH al 1% en una relación 1:6 sólido-líquido a una temperatura de 28°C durante 24 horas de agitación constante para asegurar una completa desproteínización.
- e) La quitina obtenida, finalmente se somete al proceso de desacetilación, mediante el cual, es convertida en quitosano; para ello se pesó una cantidad de la quitina obtenida y se vertió en una solución de NaOH al 50% en una relación 1:4 sólido-líquido, bajo las siguientes condiciones:
 - a. primero por 2 horas a 60°C y
 - b. luego por 2 horas a 100°C.
- f) El producto obtenido es el quitosano.



Ilustración 11. Chitosano obtenido

Fuente: Los Autores

En cada una de las etapas del proceso, el producto obtenido fue lavado con abundante agua destilada hasta obtener un pH neutro.

6.1.3. Características del chitosano obtenido

El chitosano obtenido fue enviado a los laboratorios del CIVABI de la Universidad Politécnica Salesiana en Quito, en donde se realizó la prueba de espectrofotometría infrarroja a cargo del Dr. Pablo Coba; los resultados de dicha prueba se indican en el **Anexo 1.**

Los resultados del análisis indicaron que la muestra obtenida presenta ciertas impurezas de quitina, además, sus características físicas impiden realizar análisis más detallados, pudiéndose concluir que es un chitosano con un grado de pureza bajo, lo cual quedó comprobado durante la experimentación debido a su poca solubilidad con ácido acético.

Por razones de logística, y para efectos de la experimentación, fue necesario adquirir el chitosano ya procesado. El Dr. Luis Cumbal Flores, investigador del CIENCI (Centro de Investigaciones Científicas) de la Escuela Politécnica del Ejército de Quito, quien ha realizado muchos trabajos investigativos relacionados con la obtención y aplicación del polímero, muy amablemente nos proporcionó chitosano con un alto grado de pureza.

6.2. Metodología experimental

El presente ensayo pretende determinar las condiciones más favorables para el proceso de floculación del cromo, tomando en cuenta las siguientes variables:

- pH
- tiempo de floculación o mezcla lenta
- dosis del coagulante (quitosano)

6.2.1. Reactivos utilizados para la experimentación

- Acetona (C_3H_6O)
- Ácido acético al 4% para preparar la solución de quitosano
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado para regular el pH de la concentración
- Hidróxido de sodio (NaOH) al 1% para elevar el pH hasta un valor básico
- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)
- 1,5 Difenilcarbazida ($C_{13}H_{14}N_4O$)

6.2.2. Equipos y materiales

- Espectrofotómetro marca THERMO Spectronic, modelo GENESYS 20 el cual da lecturas desde 190 nm hasta 900 nm, equipado con cuatro celdas de 1 cm de paso óptico de luz
- Equipo floculador de fabricación artesanal para el ensayo de jarras, equipado con tres paletas de acero inoxidable capaces de girar desde 1 rpm hasta 250 rpm, posibles de funcionar entre un minuto hasta los 180 minutos.
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- pH-metro
- Papel filtro
- Erlenmeyer de 100 ml.
- Pipeta de 10 ml.
- Vasos de precipitación de 250 ml.
- Bomba al vacío

6.2.3. Floculador

El equipo utilizado para la experimentación de la prueba de jarras, es un floculador que posee tres hélices de acero inoxidable, con eje vertical, las mismas que están conectadas a un motor eléctrico que otorga el movimiento a las paletas. Un panel de control está conectado al motor del sistema, haciendo posible ajustar la velocidad y tiempo de mezcla en valores deseados que van desde 1 minuto hasta los 180 minutos para el tiempo y desde 1 hasta 250 revoluciones por minuto para la velocidad.



Ilustración 12.Equipo floculador utilizado para la prueba de jarras
Fuente: Los Autores

6.3. Condiciones para el desarrollo de la prueba de jarras

Los valores de las variables y demás condicionantes que intervienen en la prueba de jarras, se establecieron en base a bibliografía y ensayos relacionados la presente investigación.

6.3.1. Velocidad y tiempo de mezcla rápida

La mezcla rápida dura pocos segundos, durante este lapso el coagulante debe ser agregado sobre la solución la misma que debe tener una velocidad alta de agitación, que permita dispersar el coagulante.

- Velocidad: 150 rpm (revoluciones por minuto)
- Tiempo: 2 minutos

6.3.2. pH

Previamente a la prueba de jarras, el potencial de hidrógeno de la muestra fue ajustada a 3 valores distintos:

- pH: 5
- pH: 7
- pH: 9

6.3.3. Velocidad de floculación

Se estableció una velocidad baja de 25 rpm (revoluciones por minuto)

6.3.4. Tiempo de floculación

Para examinar el rendimiento de floculación en diferentes periodos de tiempos, se establecieron los siguientes valores:

- 5 minutos
- 15 minutos
- 30 minutos

6.3.5. Dosificación de quitosano

Debido a que el quitosano es insoluble en agua se utilizó ácido acético al 4%, por cada 100 ml del ácido se disolvieron 100 mg de quitosano, obteniendo un solución cuya concentración es de 1 mg de quitosano por cada mililitro de solución.

Para el diseño experimental se utilizaron 3 concentraciones de solución de quitosano: 15 ml, 30 ml y 60 ml.

6.4.Procedimiento de coagulación – floculación

Para el presente diseño experimental se determinaron tres variables independientes y una variable de respuesta o dependiente, es decir un diseño factorial multinivel:

| Variables de entrada | Prueba de Jarras | Variable de salida |
|--|-------------------------|-------------------------------|
| Dosis de quitosano pH del agua contaminada Tiempo de floculación | | Rendimiento de cromo removido |

Utilizando el software informático STATGRAPHICS Centurion, se ingresaron las variables de entrada con diferentes niveles obteniendo 27 ensayos diferentes en los que se combinan las tres variables de entrada y en diferentes niveles para cada una; para cada ensayo se realizaron tres réplicas con el objetivo de obtener resultados más reales, dando como resultado un total de 81 ensayos efectuados.

| pH | Tiempo (min) | Quitosano(ml) | Réplica 1 | Réplica 2 | Réplica 3 |
|-----------|---------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| 5 | 5 | 15 | | | |
| 5 | 5 | 30 | | | |
| 5 | 5 | 60 | | | |
| 5 | 15 | 15 | | | |
| 5 | 15 | 30 | | | |
| 5 | 15 | 60 | | | |
| 5 | 30 | 15 | | | |
| 5 | 30 | 30 | | | |
| 5 | 30 | 60 | | | |
| 7 | 5 | 15 | | | |
| 7 | 5 | 30 | | | |
| 7 | 5 | 60 | | | |
| 7 | 15 | 15 | | | |
| 7 | 15 | 30 | | | |
| 7 | 15 | 60 | | | |
| 7 | 30 | 15 | | | |
| 7 | 30 | 30 | | | |
| 7 | 30 | 60 | | | |
| 9 | 5 | 15 | | | |
| 9 | 5 | 30 | | | |
| 9 | 5 | 60 | | | |
| 9 | 15 | 15 | | | |

| | | | | | |
|---|----|----|--|--|--|
| 9 | 15 | 30 | | | |
| 9 | 15 | 60 | | | |
| 9 | 30 | 15 | | | |
| 9 | 30 | 30 | | | |
| 9 | 30 | 60 | | | |

El proceso de coagulación-floculación mediante la prueba de jarras, se realizó de la siguiente manera:

- a. Se disolvieron 3,15 gramos de dicromato de potasio en 21 litros de agua potable, para obtener una matriz de agua contaminada con una concentración de 150 ppm (partes por millón).



Ilustración 13. Dicromato de potasio utilizado para generar la matriz de agua contaminada
Fuente: Los Autores

- b. Cada ensayo se realizó por triplicado, utilizando 3 vasos de precipitación se vertieron 150 ml de solución con dicromato de potasio.



Ilustración 14. Prueba de tratabilidad realizada a las muestras de agua
Fuente: Los Autores

- c. Se ajustó el pH de cada vaso mediante titulación por goteo, utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado para obtener un $pH=5$ e hidróxido de sodio (NaOH) al 50% para obtener un $pH=9$. En los ensayos con $pH=7$ no fue necesario ajustar el pH debido a que el valor inicial de éste parámetro es neutro.
- d. En el panel de control del floculador se ingresaron los valores de tiempo y velocidad previamente establecidos.
- e. Culminado el tiempo de coagulación-floculación se removieron los flóculos formados, utilizando papel filtro y una bomba al vacío para acelerar el proceso.



Ilustración 15. Filtración de las muestras para eliminar los flóculos
Fuente: Los Autores

- f. Posteriormente, de cada vaso se tomó una muestra de 100 ml, a partir de la cual se determinó la concentración de cromo por espectrofotometría.

6.5. Procedimiento para el análisis espectrofotométrico

Ajuste de pH

Luego de remover los flóculos, se tomaron 100 ml de la muestra filtrada, en un Erlenmeyer, utilizando una pipeta se añadieron gotas de ácido sulfúrico puro hasta obtener un potencial de hidrógeno cercano a 1. El pH se midió utilizando un pH-metro.



Ilustración 16. Ajuste del potencial de hidrógeno mediante goteo
Fuente: Los Autores

Titulación de la muestra

Luego de ajustar el pH hasta un nivel ácido, se procedió a añadir 2 ml Difenilcarbazida utilizando una pipeta. Se deja reposar la muestra por un lapso de 10 minutos; cuando se añade el reactivo la muestra toma una coloración violeta, que disminuye de intensidad gradualmente transcurrido el tiempo.



Ilustración 17.Titulación con Difenilcarbazida
Fuente: Los Autores

Lectura en el espectrofotómetro

El espectrofotómetro fue ajustado a un nivel de absorbancia de 540 nm; luego, una cantidad de la muestra con Difenilcarbazida, se colocó en la celda del espectrofotómetro y se procedió a realizar las lecturas en el espectrofotómetro.



Ilustración 18.Celdas para lectura en el espectrofotómetro
Fuente: Los Autores

Determinación de cromo VI (Cr⁶⁺)

Para la determinación del cromo hexavalente (Cr⁺⁶) presente en cada una de la muestras, se realizó por coloración espectrofotométrica según el método de prueba NMX-AA-044-SCI-2001, referenciada en la norma ecuatoriana de “Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua” presente en el Libro VI, Anexo1 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). **Ver Anexo 2.**

Los resultados obtenidos y sus análisis se muestran en el siguiente capítulo.

7. CAPÍTULO VII RESULTADOS – ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

7.1.Resultados

Luego de haber realizado la prueba por espectrofotometría a los 81 ensayos, se obtuvieron los siguientes resultados:

| pH | Tiempo (min) | Quitosano (ml) | Lecturas Espectrofotómetro (nm) | | | | | Cr ⁺⁶ inicial | Cr ⁺⁶ final | Rendimiento de remoción (%) |
|----|--------------|----------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | | | Muestra inicial | Réplica 1 | Réplica 2 | Réplica 3 | Promedio | ug/ml | ug/ml | |
| 5 | 5 | 15 | 0,169 | 0,066 | 0,066 | 0,066 | 0,0660 | 0,264 | 0,104 | 60,61 |
| 5 | 5 | 30 | 0,169 | 0,055 | 0,054 | 0,058 | 0,0557 | 0,264 | 0,088 | 66,67 |
| 5 | 5 | 60 | 0,169 | 0,042 | 0,045 | 0,042 | 0,0430 | 0,264 | 0,068 | 74,24 |
| 5 | 15 | 15 | 0,169 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,0380 | 0,264 | 0,06 | 77,27 |
| 5 | 15 | 30 | 0,169 | 0,029 | 0,028 | 0,028 | 0,0283 | 0,264 | 0,045 | 82,95 |
| 5 | 15 | 60 | 0,169 | 0,016 | 0,016 | 0,018 | 0,0167 | 0,264 | 0,027 | 89,77 |
| 5 | 30 | 15 | 0,169 | 0,083 | 0,081 | 0,082 | 0,0820 | 0,264 | 0,129 | 51,14 |
| 5 | 30 | 30 | 0,169 | 0,072 | 0,074 | 0,074 | 0,0733 | 0,264 | 0,115 | 56,44 |
| 5 | 30 | 60 | 0,169 | 0,061 | 0,063 | 0,063 | 0,0623 | 0,264 | 0,062 | 76,52 |
| 7 | 5 | 15 | 0,169 | 0,036 | 0,036 | 0,035 | 0,0357 | 0,264 | 0,057 | 78,41 |
| 7 | 5 | 30 | 0,169 | 0,029 | 0,028 | 0,029 | 0,0287 | 0,264 | 0,046 | 82,58 |
| 7 | 5 | 60 | 0,169 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,0270 | 0,264 | 0,043 | 83,71 |
| 7 | 15 | 15 | 0,169 | 0,064 | 0,064 | 0,064 | 0,0640 | 0,264 | 0,101 | 61,74 |
| 7 | 15 | 30 | 0,169 | 0,052 | 0,053 | 0,051 | 0,0520 | 0,264 | 0,082 | 68,94 |
| 7 | 15 | 60 | 0,169 | 0,044 | 0,046 | 0,048 | 0,0460 | 0,264 | 0,073 | 72,35 |
| 7 | 30 | 15 | 0,169 | 0,089 | 0,09 | 0,09 | 0,0897 | 0,264 | 0,141 | 46,59 |
| 7 | 30 | 30 | 0,169 | 0,032 | 0,03 | 0,032 | 0,0313 | 0,264 | 0,05 | 81,06 |
| 7 | 30 | 60 | 0,169 | 0,027 | 0,027 | 0,025 | 0,0263 | 0,264 | 0,042 | 84,09 |
| 9 | 5 | 15 | 0,169 | 0,078 | 0,079 | 0,078 | 0,0783 | 0,264 | 0,123 | 53,41 |
| 9 | 5 | 30 | 0,169 | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,0290 | 0,264 | 0,047 | 82,20 |
| 9 | 5 | 60 | 0,169 | 0,021 | 0,022 | 0,021 | 0,0213 | 0,264 | 0,035 | 86,74 |
| 9 | 15 | 15 | 0,169 | 0,068 | 0,068 | 0,069 | 0,0683 | 0,264 | 0,107 | 59,47 |
| 9 | 15 | 30 | 0,169 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,0470 | 0,264 | 0,074 | 71,97 |
| 9 | 15 | 60 | 0,169 | 0,033 | 0,033 | 0,032 | 0,0327 | 0,264 | 0,052 | 80,30 |
| 9 | 30 | 15 | 0,169 | 0,062 | 0,06 | 0,06 | 0,0607 | 0,264 | 0,096 | 63,64 |
| 9 | 30 | 30 | 0,169 | 0,056 | 0,057 | 0,057 | 0,0567 | 0,264 | 0,089 | 66,29 |
| 9 | 30 | 60 | 0,169 | 0,036 | 0,037 | 0,036 | 0,0363 | 0,264 | 0,058 | 78,03 |

7.2. Análisis y discusión

Para el presente trabajo investigativo se eligió un diseño experimental multifactorial multinivel, se utilizaron tres factores de entrada con tres niveles para cada factor y una variable de respuesta o variable de salida; obteniéndose un diseño 3^3 . En el libro “Análisis y diseño de experimentos”, los autores Gutiérrez y De La Vara, indican que el uso de este tipo de diseños son apropiados para el tipo de investigaciones como la presente, debido a que se obtiene un gran número de datos que permiten establecer si el error se debe al experimento o es generado por causas externas.

| Variables de entrada | Unidad | Niveles | | | Variable de respuesta |
|------------------------|--------|---------|-------|------|-----------------------|
| | | Bajo | Medio | Alto | |
| Potencial de hidrógeno | pH | 5 | 7 | 9 | Rendimiento (%) |
| Tiempo | min | 5 | 15 | 30 | |
| Quitosano | ml | 15 | 30 | 60 | |

Tabla 6. Resumen de las variables de entrada con sus respectivos niveles
Fuente: Los Autores

7.2.1. Análisis de varianza ANOVA

Para determinar si alguno de los factores tiene inferencia significativa en los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| A:pH | 155,105 | 1 | 155,105 | 2,20 | 0,1424 |
| B:Tiempo | 855,617 | 1 | 855,617 | 12,14 | 0,0009 |
| C:Quitosano | 4124,31 | 1 | 4124,31 | 58,54 | 0,0000 |
| AA | 190,472 | 1 | 190,472 | 2,70 | 0,1047 |
| AB | 120,777 | 1 | 120,777 | 1,71 | 0,1948 |
| AC | 253,009 | 1 | 253,009 | 3,59 | 0,0623 |
| BB | 179,21 | 1 | 179,21 | 2,54 | 0,1153 |
| BC | 70,0548 | 1 | 70,0548 | 0,99 | 0,3222 |
| CC | 624,754 | 1 | 624,754 | 8,87 | 0,0040 |
| bloques | 4,20161 | 2 | 2,1008 | 0,03 | 0,9706 |
| Error total | 4861,25 | 69 | 70,4529 | | |
| Total (corr.) | 11057,4 | 80 | | | |

Tabla 7. Análisis de varianza para determinar la significancia de cada una de las variables independientes
Fuente: Los Autores

Basándonos en la bibliografía “Análisis y diseño de experimentos” de Humberto Gutiérrez Pulido – Román De La Vara Salazar, donde se indica que cuando alguno de los valores observados es menor a 0,05 debe considerarse que tiene un nivel de importancia significativa. Tal como se observa en la **Tabla 7** los valores, marcados en rojo, correspondientes a quitosano, tiempo y la combinación entre quitosano y quitosano, están por debajo del valor 0,05 por lo tanto se puede establecer que son significativamente influyentes sobre la variable de respuesta, rendimiento de remoción.

A partir de este análisis de varianza, podemos establecer que los cambios en el rendimiento no se deben a factores externos a los utilizados por el experimento, sino más bien a los dos variables, que en este caso son la dosis de quitosano y el tiempo de floculación.

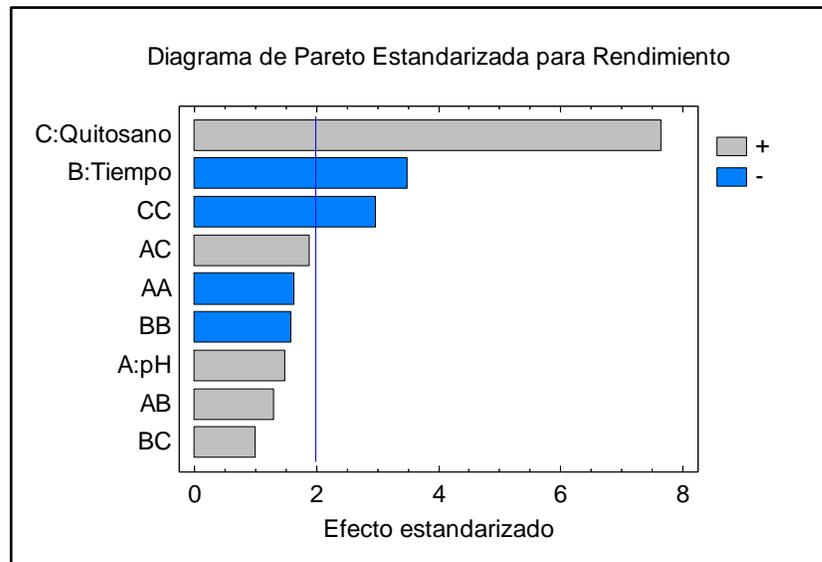


Ilustración 19.Diagrama de Pareto en que se categorizan a las variables de entrada en orden de importancia

Fuente: Los Autores

En la **Ilustración 19** el diagrama de Pareto muestra a los factores de entrada y a sus combinaciones entre sí, colocados en orden de importancia, siendo el quitosano el factor de mayor inferencia sobre el rendimiento de remoción del Cr^{+6} , seguido por el tiempo de floculación y por último a la combinación entre quitosano con quitosano. Cabe agregar que como se observa en el diagrama de Pareto, el efecto del quitosano es positivo sobre

el rendimiento, esto quiere decir que a mayor quitosano habrá un mayor rendimiento de remoción, mientras que el tiempo nos da un efecto negativo hacia el rendimiento.

7.2.2. Efecto del Quitosano

Tal como se ha indicado en el ANOVA de la **Tabla 7**, el quitosano tiene una inferencia significativa sobre el rendimiento, en el diagrama de Pareto se muestra que esta variable tiene un efecto positivo sobre el rendimiento, es decir que a mayor dosis de quitosano, mayor será el rendimiento.

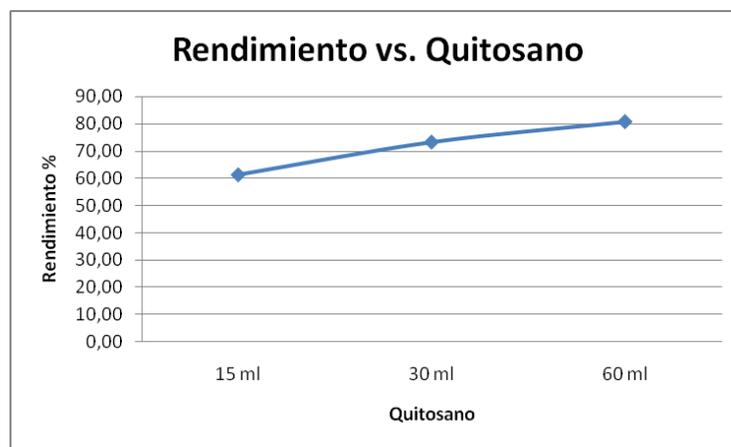


Ilustración 20. Comportamiento de la curva de rendimiento frente a la dosis de quitosano

Fuente: Los Autores

En las imágenes de la **Ilustración 21**, se puede comprender mejor que el aumento en la eficiencia de remoción se debe a la dosificación de quitosano, utilizando diferentes pH de la solución y diferentes tiempos de floculación.

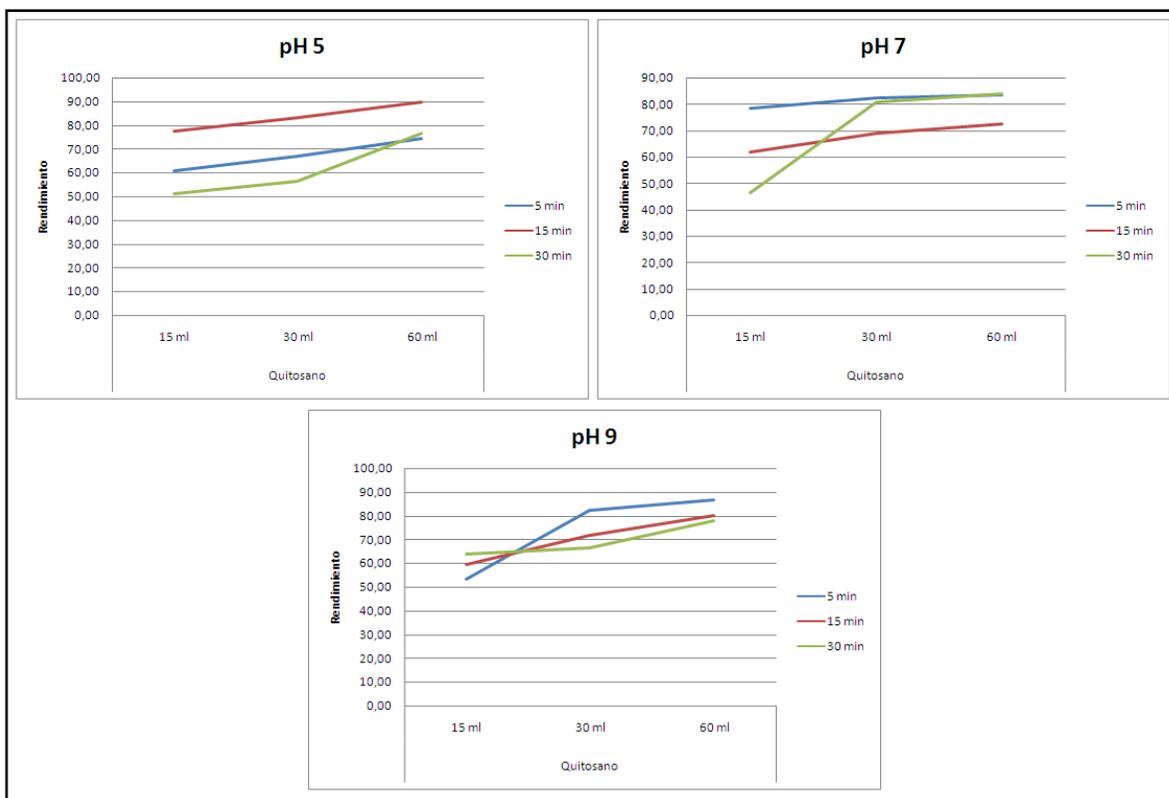


Ilustración 21. Efecto del quitosano a tiempos y pH diferentes
Fuente: Los Autores

Este aumento en el rendimiento se debe a que el quitosano tiene radicales libres que asocian a las partículas de Cr^{+6} , dando lugar a la formación de flóculos fáciles de remover por métodos de filtración.

En el trabajo investigativo “Ayudantes de Floculación” realizado por Orozco V., Walter; & Maldonado D., Luis, se menciona que un aumento en la dosificación del coagulante, genera resultados positivos en la capacidad de remoción de los contaminantes; lo cual ha quedado corroborado con los resultados obtenidos en la presente investigación.

7.2.3. Efecto del Tiempo

En la **Ilustración 22** se observa que a menores tiempos de floculación se obtienen mejores rendimientos; el rápido efecto del quitosano como coagulante permite la máxima formación de flóculos en los cinco primeros minutos. Observándose que a medida que el

tiempo de floculación aumenta, el rendimiento decae significativamente; esto debido que mucho tiempo de cinética de las paletas provoca, rompimiento de los flóculos ya formados, haciendo difícil volver a estabilizarlos.

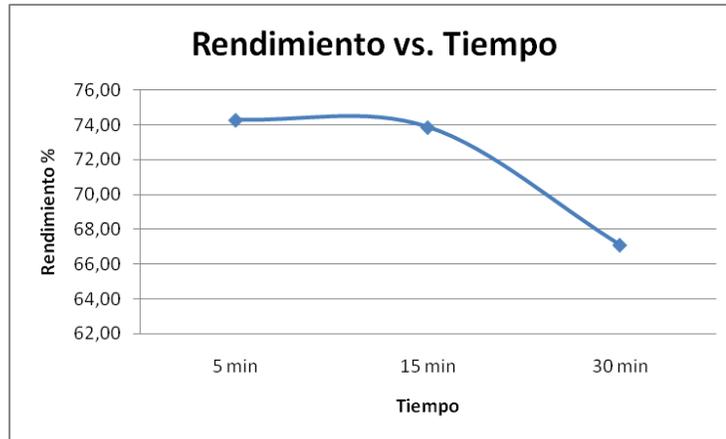


Ilustración 22. Efecto del tiempo de floculación sobre el rendimiento de remoción
Fuente: Los Autores

Ensayos de floculación, como el realizado por Elías Assaad “Étude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite-chitosane dans l’élimination de métaux de transition”, en el que utiliza diferentes coagulantes, demuestra que el tiempo de floculación tiene una incidencia negativa sobre el rendimiento de floculación, es decir es inversamente proporcional frente al rendimiento, debido a los efectos mecánicos de las paletas sobre los flóculos.

7.2.4. Efecto del pH

Según los ensayos realizados, los mejores rendimientos de floculación se obtienen cuando la solución tiene un potencial de hidrógeno neutro, tal como se observa en la **Ilustración 23**, con potenciales de hidrógeno ácidos igual a 5 y potenciales de hidrógeno básico igual a 9, los rendimientos son menores a los obtenidos con un pH neutro.

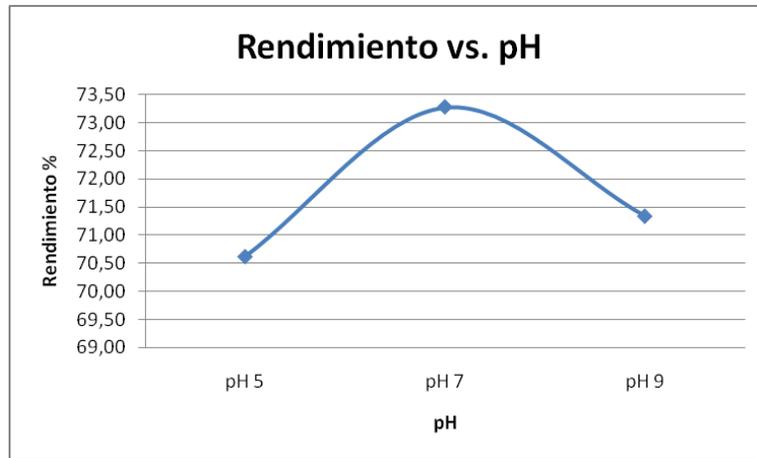


Ilustración 23. El rendimiento tiene mejores resultados cuando se utiliza un pH neutro
Fuente: Los Autores

Sin embargo este comportamiento del rendimiento a un pH neutro, no se manifiesta en todos los ensayos realizados. La **Ilustración 24** muestra que su efecto es muy irregular, obteniendo rendimientos muy variados, con los diferentes potenciales de hidrógeno aplicados.

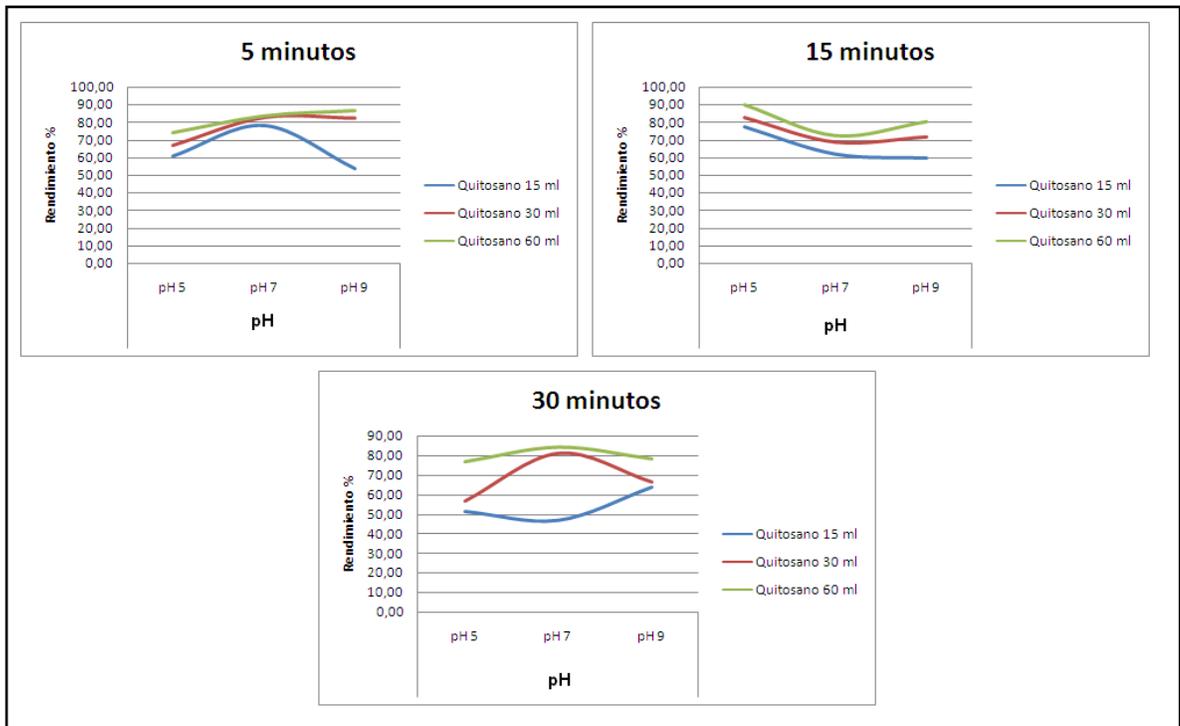


Ilustración 24. Muestra los distintos rendimientos obtenidos con diferentes valores de pH
Fuente: Los Autores

En la **Tabla 7**, el análisis de varianza ANOVA determinó que el pH no incide significativamente; seguramente debido a que los valores de esta variable utilizados en la presente experimentación no son muy secuenciales, dando lugar a una representación gráfica en la que no permite establecer conclusiones.

7.2.5. Optimización del proceso de floculación

De acuerdo a lo analizado para cada una de las variables utilizadas en la presente investigación, la mayor eficiencia de remoción del Cr^{+6} se obtiene cuando la dosificación de quitosano es de 60 ml, con tiempos de floculación bajos entre 5 - 15 minutos y a un pH neutro, a pesar de que este último no se considera relevante según el análisis de varianza.

| Factor | Bajo | Alto | Óptimo |
|---------------|-------------|-------------|---------------|
| pH | 5,0 | 9,0 | 7,89933 |
| Tiempo | 5,0 | 30,0 | 13,2637 |
| Quitosano | 15,0 | 60,0 | 53,2963 |

Tabla 8. Valores recomendados para una mayor eficiencia de remoción de Cr^{+6}
Fuente: Los Autores

La **Tabla 8** muestra los valores recomendados para cada uno de los factores utilizados, para obtener un rendimiento óptimo de 85,11%.

La estimación de estos valores se consiguió con ayuda del software STATGRAPHICS, corroborando así lo analizado en cada una de las variables.

8. CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- Los ensayos de coagulación-floculación demostraron que el aumento en el tiempo de floculación influye negativamente en la remoción del cromo, debido a que los flóculos ya formados tienden a romperse y disociarse por el exceso de interacción con las paletas del floculador.
- El quitosano demostró gran eficiencia en la floculación a los cinco minutos de su exposición sin embargo el movimiento del cuerpo de agua mayor a cinco minutos provoca rompimiento de los flóculos; por lo que para el aprovechamiento de este fenómeno; los sedimentos deben ser retirados cuanto antes. Además provoca remoción del Cromo⁺⁶. En este mismo tiempo se observó que mientras mayor es la concentración de quitosano mayor es la remoción del cromo; lo que contribuye a liberar los efectos tóxicos del cromo, sin provocar peligro de toxicidad del quitosano debido a sus propiedades de biodegradabilidad y bioabsorción.
- En nuestra prueba encontramos que el uso de ácidos y bases para la desmineralización y desproteinización no logra la obtención de quitosano con altos grados de pureza; mientras no se asegure un proceso de desacetelización cuidadoso.
- Considerando que el quitosano en nuestras pruebas presentó ventajas en el tiempo de floculación, dosis y pH; para el tratamiento de aguas; afirmamos categóricamente que respecto de la dosis existe una gran ventaja frente a otros coagulantes de origen metálico; sobre todo por no alterar la calidad del agua al no ser tóxico, propiedad por la que debe ser considerado como elemento alternativo en el tratamientos de las aguas.

- En la obtención del quitosano mediante el uso de ácidos y bases, se produce aguas residuales que son de carácter tóxico; por lo que para evitar impactos ambientales se requieren procesos de pre-tratamiento que significan mayores inversiones y gastos económicos; más aún cuando el proceso necesita de grandes cantidades de reactivos.

8.2.Recomendaciones

- Basándonos en que el proceso utilizado para la obtención del quitosano produce impactos ambientales por las aguas residuales producto del tratamiento de las cáscaras de camarón y con ello impactos económicos por la adquisición de reactivos y el tratamiento del agua residual que debería realizarse; se recomienda promover el estudio para la aplicación de otros procedimientos, como la de desacetilación enzimática de las cáscaras de camarón.
- Al determinarse que el pH provoca un comportamiento irregular del quitosano, sobre el rendimiento de remoción del cromo⁺⁶; y al haberse utilizado solamente 3 valores de esta variable, podría ser necesario realizar más ensayos de floculación utilizando valores de pH secuenciales, que permitan establecer el nivel óptimo de pH.
- En nuestra aplicación del quitosano obtuvimos una importante remoción del cromo hexavalente, pudiendo inferir que esa misma reacción se daría con otros metales pesados; por lo que se debería ampliar el estudio del quitosano aplicándolo a otros metales de transición contaminantes, lo cual nos llevaría a comprobar su valor al disminuir o neutralizar los efectos dañinos a la salud que provocan los metales pesados.
- A pesar de que mediante la prueba de tratabilidad como el método de jarra; se obtuvieron resultados favorables, no está por demás pedir que se realicen otros

estudios, con otros métodos de descontaminación en los que el quitosano sea el principal factor condicionante.

- Las propiedades del quitosano y los excelentes resultados obtenidos, deben ser promovidos para alentar proyectos de investigación entorno a este polímero, tomando en cuenta sobre todo la enorme cantidad de materia prima que dispone el país.

BIBLIOGRAFIA

- BAUTISTA, Carmen, *Crustáceos tecnología de cultivo*, 2da edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid – España, 1994.
- RIOS, Sixto, *Iniciación Estadística*, 6ta Edición, Ediciones ICE, Madrid – España, 1977.
- REYES, Pedro, *Diseño de experimentos aplicados*, 2da Edición, Editorial Trillas, México D.F. – México, 1980.
- RAUDEL, Olmos y otros, *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*, Editorial Plaza y Valdés, S.A. de C.V, California – EEUU, 2003.
- BERNAL, César, *Metodología de la investigación*, 2da Edición, México, 2006.
- GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto, *Análisis y Diseño de Experimentos*, 2da Edición, Mc GRAW-HIKK/INTERAMERICANA EDITORES, S.A de C.V, México 2008.
- PLUNKETT, E.R., *Manual de toxicología industrial*, 1ra edición, URMO S.A. de Ediciones, Bilbao-España, 1974.
- ARÉVALO, Pablo, *Programa de formación de técnicos en gestión de cuencas hidrográficas, Módulo VII: Tratamiento de Aguas*, Universidad Politécnica Salesiana y Consejo de Gestión de Aguas de la cuenca del Paute, Cuenca, 2006.
- VIÑÁN, Oscar, *Aprovechamiento de residuos de camarón y cangrejo, para obtener quitina, quitosana y proteína con fines farmacéuticos*, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2005.
- TORRES, Sandra Magali, *Estudio de aprovechamiento del lechuguín EichhorniaCrassipes, del embalse de la represa Daniel Palacios como*

biosorbente de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2009.

- PENICHE COVAS, Carlos Andrés, *Estudios sobre Quitina y Quitosana*, Facultad de Química, Universidad de la Habana, La Habana, 2006.
- OROZCO, Walter & MALDONADO, Luis, *Ayudantes de Floculación*, Universidad de Cuenca, Cuenca, 1979.
- RÍOS DONATO, Nely, “Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales aniónicas de caolinita”, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Vol. 7 (3), Guanajuato – México, 2006, págs. 145-161.
- HERNÁNDEZ, Cocoltzi; ÁGUILA, Almanza; FLORES, Agustin; VIVEROS, Nava & RAMOS, Cassellis, “Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón”, *Superficies y Vacío*, número 22, Puebla – México, 2009, págs. 57-60.
- BONILLA, Gabriel, “Biología del *Pennaeus Vannamei*”, *Revista Ecuacamarón*, Vol. 8 N. 1, Machala – Ecuador, 2008, pág. 27.
- LARENAS, Christian, “Estudio isotérmico de biosorción de plomo en aguas utilizando residuos vegetales”, *Revista La Granja*, Vol. 8 N. 2, Quito – Ecuador, 2008, págs. 3-8.
- LÁREZ, Cristóbal, “Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos”, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Vol 4(2), Mérida – Venezuela, 2003, págs. 91-109.
- LÁREZ, Cristóbal, “Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro”, *Revista Avances en Química*, Vol. 1(2), Mérida – Venezuela, 2006, págs. 15-21.
- BINA, B; MEHDINEJAD, M; NIKAEEN, H & MOVAHEDIAN, Attar, “Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treating turbid waters”, *Environ Health Sci. Eng.*, Vol. 6, N. 4, Isfahan – Iran, págs. 247-252.

- RODRÍGUEZ, J.P.; LUGO, I. P.; ROJAS, A. V. & MALAVER, C., “Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora”, *Umbral Científico*, N. 11, Bogotá – Colombia, 2007, págs. 8-16.
- SOTO, Eduardo; LOZANO, Tomás; BARBARÍN, Juan & ALCALÁ, Mónica, “Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos”, *Revista Ingenierías*, Vol. 7, N. 23, Nuevo León – México, 2004, págs. 46-51.
- SÁNCHEZ, Andrés; SIBAJA, María; VEGA-BAUDRIT, José & MADRIGAL, Sergio, *Síntesis y caracterización de hidrogeles de quitosano obtenido a partir del camarón langostino (Pleuroncodes planipes) con potenciales aplicaciones biomédicas*, Cartago – Costa Rica, 2007. www.ehu.es/reviberpol/pdf/SEP07/sanchez.pdf
- BILBAO, Ofelia; FERNÁNDEZ, Sol; NIETO, Olga & HENRÍQUES, Ruth, *Utilización de quitina en formas farmacéuticas*, La Habana – Cuba, 1998. http://bvs.sld.cu/revistas/far/vol32_3_98/far07398.pdf
- MÁRMOL, Zulay; GUTIÉRREZ, Edixon; PÁEZ, Gisela; FERRER, José & RINCÓN, Marisela, *Desacetilación termoalcalina de quitina de conchas de camarón*, Zulia – Venezuela, 2006. redalyc.uaemex.mx/pdf/904/90440203.pdf
- MARGUERITE, Rinaudo, *Chitin and chitosan: Properties and applications*, Francia, 2006.
- LEMUS, Juan; MARÍNEZ, Ligia; NAVARRO, María & POSADAS, Álvaro, *Obtención y uso de quitosano para tratamientos dérmicos a partir de exoesqueleto de camarón*, Guatemala – Guatemala, 2007. www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_07_QUI01.pdf

- LÁREZ, Cristóbal; *Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica*, Mérida – Venezuela, 2008. dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=3094823&orden=0
- BOROVIČKOVÁ, Marcela, *Chitosan - a new type of polymer coagulant*, Purkyňova – República Checa, 2006. http://www.fch.vutbr.cz/stc/download/DSP2005/Borovickova_2005.pdf
- CASTILLO, Elba; HERRERA, Gonzalo & MÉNDEZ, Roger, *Determinación de parámetros de diseño de un tratamiento fisicoquímico de aguas residuales*, Yucatán – México. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicon/R-0097.pdf>
- ASSAAD, Elias, *Étude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite-chitosane dans l'élimination de métaux de transition*, Quebec – Canadá, 2006. www.archipel.uqam.ca/2718/1/M9373.pdf
- LÓPEZ, Manuel & MARECOS, Olga, *Evaluación de plantas de tratamiento*, Asunción – Paraguay, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay/evaplatra.pdf>
- SODIM, *Évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles*, Quebec – Canadá, 2008. http://www.sodim.org/pdf/AutresEspecies/710,149_Chitosane_2.pdf
- ROMERO, Teresita & FERRÁN, Cristina, *Floculación de *Chlorella* sp. con la utilización de quitosano*, La Habana – Cuba, 2001. http://169.158.228.3/pub_doc/INVESTMARINAS/rim/pdf/2001/1/2001-57.pdf
- MEZA, Arturo; BRIONES, Roberto & ILANGO VAN, Kuppusamy, *Floculación-coagulación como postratamiento del efluente de un reactor anaerobio que trata vinazas tequileras*, México D.F. – México, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01336e14.pdf>
- RAMÍREZ, Rosa; DURÁN Alfonso; BERNAL Arodí & ORTA DE VELÁSQUEZ, Ma. Teresa, *Proceso de coagulación-floculación para el*

tratamiento de aguas residuales desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos, México D.F. – México, <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0199.pdf>

- JUÁREZ, José; ROA, Gabriela & HERNÁNDEZ, Susana, Remoción de cromo hexavalente en solución acuosa por precipitación y floculación, Toluca – México. http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Resumen/TA/RO/TAO-55.pdf

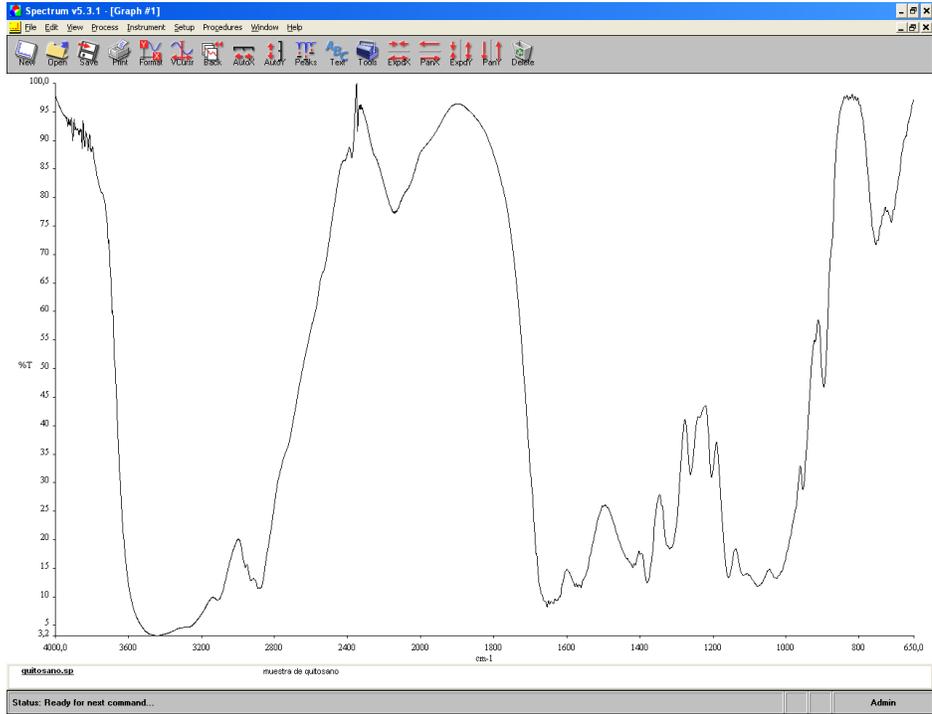
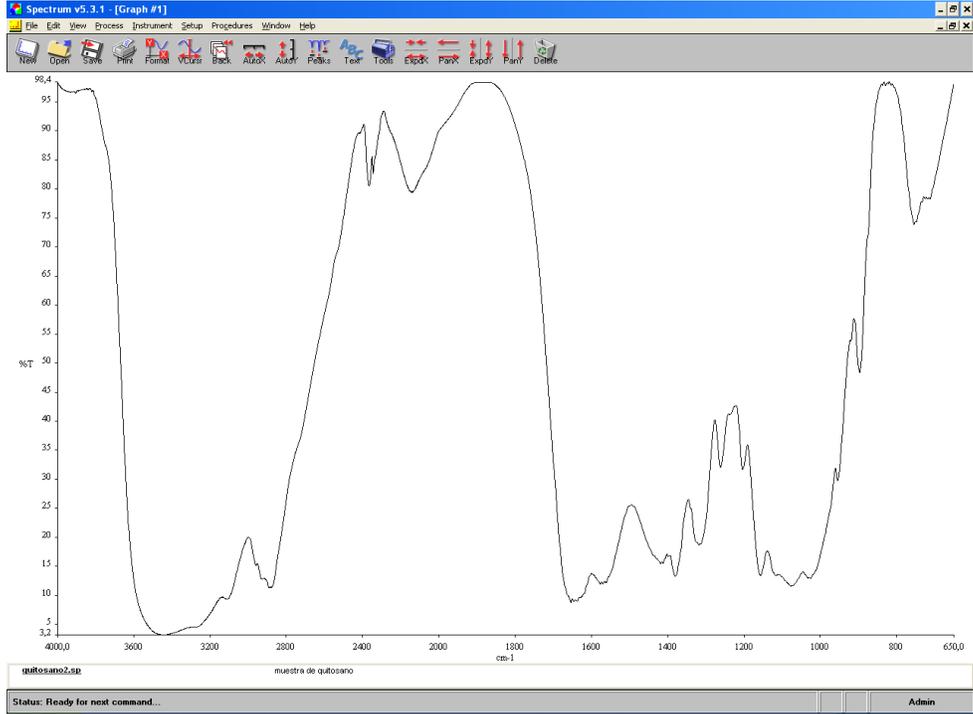
PÁGINAS WEB

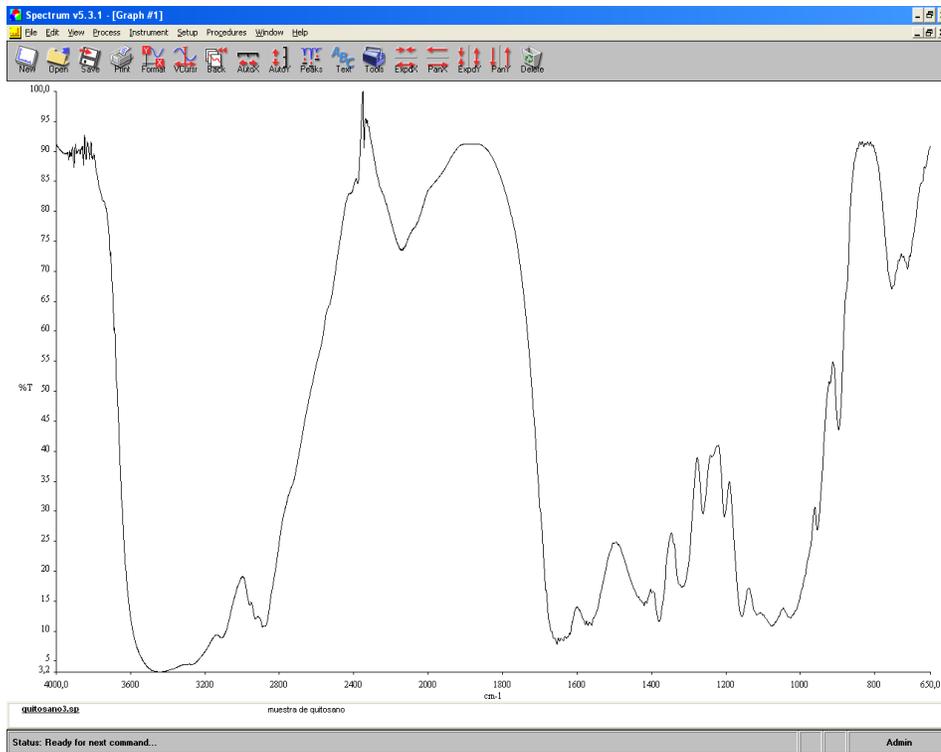
- http://www.sodim.org/pdf/AutresEspecies/710,149_Chitosane_2.pdf
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Chitosan>
- <http://www.monografias.com/trabajos23/aguas-contaminadas/aguas-contaminadas.shtml>
- <http://www.greatvistachemicals.com/biochemicals/chitin.html>
- <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm#Nombre>
- <http://www.monografias.com/trabajos71/gestion-ambiental/gestion-ambiental2.shtml>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Quitina>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_ambiental
- http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica
- http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n_h%C3%ADrica
- <http://www.monografias.com/trabajos23/aguas-contaminadas/aguas-contaminadas.shtml>
- <http://www.monografias.com/trabajos13/biomtek/biomtek.shtml?monosearch>
- <http://www.monografias.com/trabajos53/quitina-quitosana/quitina-quitosana2.shtml>
- <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ABR03/Cristobal2003.pdf>
- <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/904/90440203.pdf>
- www.sciencedirect.com

ANEXO 1

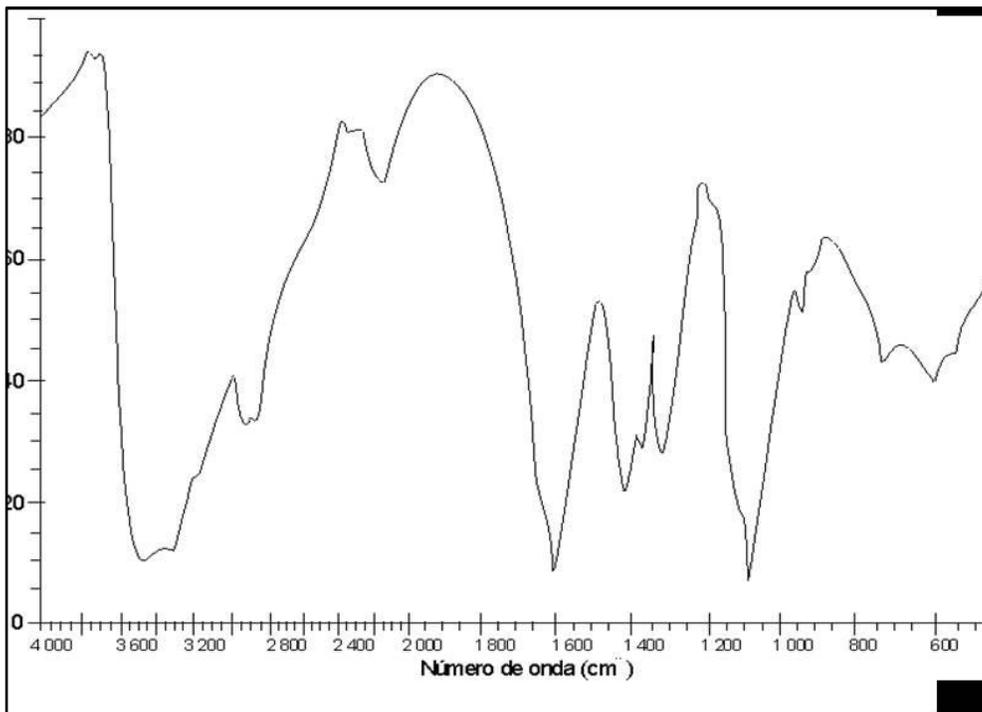
Informe de corrida en espectrofotometría infrarroja de la muestra de quitosano, realizado por el Dr. Pablo Coba en el Centro de Investigación para la Valoración de la Biodiversidad (CIVABI) en la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito.

Espectros de la muestra enviada





Espectro del quitosano propio:



OBSERVACIONES

Claramente se demuestra un patrón similar más no superponible por lo que se concluye que el proceso de extracción y purificación al parecer no es el adecuado.

La muestra a analizar tiene un diámetro de partícula muy elevado la misma que no permite realizar un análisis más minucioso.

Además se realizaron 9 corridas obteniendo el mismo espectro, de igual manera se realizó el análisis por pastilla y por FTIR obteniendo mejor resolución por el primer proceso.

ANEXO 2

**ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN
DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUAS
NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y
RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE
PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-044-1981)**

NMX-AA-044-SCFI-2001



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

ANÁLISIS DE AGUAS - DETERMINACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-044-1981)

WATERS ANALISIS - DETERMINATION OF HEXAVALENT CHROMIUM IN NATURAL, DRINKING, WASTEWATERS AND WASTEWATERS TREATED - TEST METHOD

0 INTRODUCCIÓN

Las sales de cromo hexavalente Cr (VI) se utilizan ampliamente en procesos industriales del acero, pinturas, colorantes y cerámicas. Las sales de cromo trivalente se utilizan en la industria textil para colorantes, en la industria de la cerámica y el vidrio, en la industria curtidora y en fotografía. El cromo en sus dos estados de oxidación se utiliza en diversos procesos industriales por tanto puede estar presente en las aguas residuales de dichas empresas.

El estado hexavalente es tóxico para los humanos, los animales y la vida acuática. Puede producir cáncer de pulmón cuando se inhala y fácilmente produce sensibilización en la piel. Sin embargo no se conoce si se produce cáncer por la ingestión de cromo en cualquiera de sus estados de oxidación.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.



2 PRINCIPIO DEL MÉTODO

El método se basa en una reacción de óxido reducción donde el cromo hexavalente Cr (VI) reacciona con la 1,5-difenilcarbazida en medio ácido para dar Cr₃₊ y 1,5-difenilcarbazona de color violeta que se lee espectrofotométricamente a 540 nm. La intensidad de color es directamente proporcional a la concentración de cromo hexavalente.

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Aguas naturales

Se define como agua natural el agua cruda, subterránea, de lluvia, de tormenta, residual y superficial.

3.2 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias, domésticos y similares, así como la mezcla de ellas.

3.3 Análisis de blanco analítico

Es el someter una alícuota de agua reactivo a todo el proceso de análisis por el cual pasa una muestra real. Los laboratorios deben realizar los análisis de blancos para corregir la señal de fondo del sistema de medición. El análisis de blancos se realizará en forma periódica o con cada lote de muestras según lo requiera el método.

3.4 Bitácora

Cuaderno de laboratorio debidamente foliado e identificado, en el cual los analistas anotan todos los datos de los procedimientos que siguen en el análisis de una muestra, así como todas las informaciones pertinentes y relevantes a su trabajo en el laboratorio. Es a partir de dichas bitácoras que los inspectores pueden reconstruir el proceso de análisis de una muestra tiempo después de que se llevó a cabo.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

3.5 Blanco

Agua reactivo o matriz equivalente a la que no se le aplica ninguna parte del procedimiento analítico y sirve para evaluar la señal de fondo.

3.6 Blanco analítico o de reactivos

Agua reactivo o matriz equivalente que no contiene, por adición deliberada, la presencia de ningún analito o sustancia por determinar, pero que contiene los mismos disolventes, reactivos y se somete al mismo procedimiento analítico que la muestra problema.

3.7 Calibración

Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones, efectuando una corrección del instrumento de medición para llevarlo a las condiciones iniciales de funcionamiento.

3.8 Descarga

Acción de verter, infiltrar o depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

3.9 Desviación estándar experimental

Para una serie de n mediciones del mismo mensurando, es la magnitud s que caracteriza la dispersión de los resultados, dado por la fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

donde:

x_i es el resultado de la i -ésima medición, y

\bar{x} es la media aritmética de los n resultados considerados.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

3.10 Disolución estándar

Disolución de concentración conocida preparada a partir de un patrón primario.

3.11 Disolución madre

Corresponde a la disolución de máxima concentración en un análisis. Es a partir de esta disolución que se preparan las disoluciones de trabajo.

3.12 Exactitud

Proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.

3.13 Límite de cuantificación del método (LCM)

Es la menor concentración de un analito o sustancia en una muestra que puede ser cuantificada con precisión y exactitud aceptables bajo las condiciones en que se lleva a cabo el método.

3.14 Límite de detección del método (LDM)

Es la mínima concentración de un analito o sustancia en una muestra, la cual puede ser detectada pero no necesariamente cuantificada bajo las condiciones en que se lleva a cabo el método.

3.15 Material de referencia

Material o sustancia en el cual uno o mas valores de sus propiedades son suficientemente homogéneas y bien definidas, para ser utilizadas para la calibración de aparatos, la evaluación de un método de medición, o para asignar valores a los materiales.

3.16 Material de referencia certificado

Material de referencia, acompañado de un certificado, en el cual uno o más valores de las propiedades están certificados por un procedimiento que establece la trazabilidad a una realización exacta de la unidad en la cual se expresan los valores de la propiedad, y en el que cada valor certificado se acompaña de una incertidumbre con un nivel declarado de confianza.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

3.17 Medición

Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

3.18 Mensurando

Magnitud particular sujeta a medición.

3.19 Muestra compuesta

La que resulta de mezclar un número de muestras simples. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

3.20 Muestra simple

La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento de muestreo.

3.21 Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad del agua.

3.22 Patrón (de medición)

Material de referencia, instrumento de medición, medida materializada o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.

3.23 Patrón nacional (de medición)

Patrón reconocido por una decisión nacional en un país, que sirve de base para asignar valores a otros patrones de la magnitud concerniente.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

3.24 Patrón primario

Patrón que es designado o reconocido ampliamente como un patrón que tiene las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud.

3.25 Patrón secundario

Patrón cuyo valor es establecido por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

3.26 Patrón de referencia

Patrón, en general de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado, o en una organización determinada del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

3.27 Patrón de trabajo

Patrón que es usado rutinariamente para calibrar o controlar las medidas materializadas, instrumentos de medición o los materiales de referencia.

3.28 Precisión

Es el grado de concordancia entre resultados analíticos individuales cuando el procedimiento analítico se aplica repetidamente a diferentes alícuotas o porciones de una muestra homogénea. Usualmente se expresa en términos del intervalo de confianza o incertidumbre:

$$x = \bar{x} \pm t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

donde:

- \bar{x} es la media calculada a partir de un mínimo de tres mediciones independientes;
- $t_{\alpha/2}$ es el valor de la t de Student para un nivel de significancia del 95 %;
- s es la desviación estándar de la muestra;
- n es el número de réplicas, y
- x es el resultado que incluye el intervalo de confianza.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

3.29 Trazabilidad

Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas

3.30 Verificación de la calibración

Una verificación periódica de que no han cambiado las condiciones del instrumento en una forma significativa.

4 EQUIPO Y MATERIALES

Sólo se mencionan los equipos y materiales que son de relevancia para el presente método.

4.1 Equipo

4.1.1 Espectrofotómetro disponible para utilizarse de 190 nm a 900 nm y equipado con celdas de 1 cm de paso óptico de luz.

4.1.2 Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.

4.2 Materiales

Todo el material volumétrico utilizado en este procedimiento debe ser clase A con certificado o en su caso debe estar calibrado.

4.2.1 Papel filtro de poro fino

4.2.2 Papel indicador de pH

5 REACTIVOS Y PATRONES

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo analítico, a menos que se indique otro grado.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características:

- a) Resistividad, megohm-cm a 25°C: 0,2 mín;
- b) Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C: 5,0 máx, y
- c) pH: 5,0 a 8,0.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

- 5.1 Acetona (C₃H₆O)
- 5.2 Ácido nítrico concentrado (HNO₃)
- 5.3 Ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄)
- 5.4 Dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇)
- 5.5 1,5 Difenilcarbazida (C₁₃H₁₄N₄O)
- 5.6 Disolución de difenilcarbazida (5 mg/mL): Pesar aproximadamente y con precisión 250 mg de difenilcarbazida (ver inciso 5.5) y disolver en 50 mL de acetona (ver inciso 5.1). Almacenar en frascos de color ámbar con tapa con recubierta de teflón; esta disolución es transparente al momento de prepararla, después toma un color amarillo claro. Descartar la disolución cuando comience a decolorarse, debe conservarse en refrigeración.
- 5.7 Disolución madre de cromo (500 mg/L): Secar aproximadamente 2 g de dicromato de potasio (ver inciso 5.4) en horno a 105°C por 1 h enfriar en el desecador. Pesar aproximadamente y con precisión 141,4 mg de dicromato de potasio, disolver con agua y aforar a 100 mL, 1 mL de esta disolución es equivalente a 500,0 µg de Cr (VI).
- 5.8 Disolución estándar de Cr (VI) 5 mg/L: Adicionar una alícuota de 1 mL de la disolución madre de cromo VI (ver inciso 5.7) a un matraz volumétrico de 100 mL y aforar con agua. 1 mL de esta disolución equivale a 5,0 µg de Cr(VI).
- 5.9 Disolución de ácido sulfúrico 0,2 N: Agregar 5,6 mL de ácido sulfúrico concentrado (ver inciso 5.3) a un matraz que contenga 500 mL de agua, mezcle y deje enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente diluya con agua a 1 L.

6 RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

- 6.1 Se debe tomar un mínimo de 300 mL de muestra en frascos de vidrio.
- 6.2 Para determinar el Cr (VI) disuelto, es necesario filtrar la muestra con papel filtro de poro fino. Después de la filtración se debe acidificar con ácido nítrico concentrado (HNO₃) hasta un pH < 2.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

- 6.3 Todas las muestras deben refrigerarse a una temperatura de 4°C hasta su análisis.
- 6.4 Cuando se sospecha la presencia de hipobromito, persulfato o cloruros, las muestras deben ser analizadas inmediatamente.
- 6.5 El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 h.

7 CONTROL DE CALIDAD

- 7.1 Cada laboratorio que utilice este método debe operar un programa de control de calidad (CC) formal.
- 7.2 El laboratorio debe mantener los siguientes registros:
- Los nombres y títulos de los analistas que ejecutaron los análisis y el encargado de control de calidad que verificó los análisis.
 - Las bitácoras manuscritas del analista y del equipo en los que se contengan los siguientes datos:
 - a) Identificación de la muestra;
 - b) Fecha del análisis;
 - c) Procedimiento cronológico utilizado;
 - d) Cantidad de muestra utilizada;
 - e) Número de muestras de control de calidad analizadas;
 - f) Trazabilidad de las calibraciones de los instrumentos de medición;
 - g) Evidencia de la aceptación o rechazo de los resultados, y
 - h) Además el laboratorio debe mantener la información original reportada por los equipos en disquetes o en otros respaldos de información.

De tal forma que permita a un evaluador externo reconstruir cada determinación mediante el seguimiento de la información desde la recepción de la muestra hasta el resultado final.

- 7.3 Cada vez que se adquiera nuevo material volumétrico debe de realizarse la verificación de la calibración de éste tomando una muestra representativa del lote adquirido.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

8 CALIBRACIÓN

Se debe contar con un registro de verificación de la calibración de los equipos y materiales siguientes:

- 8.1 Material volumétrico
- 8.2 Balanza analítica
- 8.3 Espectrofotómetro. Calibrar el equipo de acuerdo a las instrucciones específicas del fabricante.
- 8.4 Curva de calibración
 - 8.4.1 Medir volúmenes de disolución estándar de Cr (VI) 5,0 µg/mL aproximadamente entre 2,0 mL y 20,0 mL. de esta disolución con un mínimo de 5 disoluciones para obtener estándares en el intervalo de 10 µg a 100 µg de Cr (VI), en matraces aforados de 100 mL, después transferirlos a matraces Erlenmeyer de 250 mL; agregar ácido sulfúrico 0,2 N hasta pH de $1,0 \pm 0,3$ y seguir el procedimiento que se indica a la muestra para el desarrollo de color (ver inciso 9).
 - 8.4.2 Transferir una alícuota de cada estándar a la celda de absorción de 1 cm y medir su absorbancia a 540 nm.
 - 8.4.3 Medir las disoluciones de calibración comenzando con la de menor concentración.
 - 8.4.4 Construir una curva de calibración, graficando la absorbancia leída contra los µg de Cr (VI), evaluar la calidad de la curva obtenida.

NOTA.- Para compensar las posibles pérdidas de Cr (VI) durante las operaciones analíticas se debe seguir el mismo procedimiento a las disoluciones estándar de Cr (VI) que el que se realiza a la muestra.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

9 PROCEDIMIENTO

9.1 La alícuota necesaria para realizar el análisis de la muestra debe estar lo más clara posible, por lo que antes de empezar el método debe filtrarse a través de un papel filtro de poro fino. La alícuota para muestras muy claras debe ser de 100 mL.

9.2 Tratamiento de la muestra

Desarrollo de color:

9.2.1 Ajustar el pH a 1 con ácido sulfúrico 0,2 N, tomar una alícuota de 100 mL o una alícuota conveniente de acuerdo al contenido de Cr (VI) en la muestra y aforar con agua a 100 mL, si la muestra está turbia, tomar una lectura de absorbancia previa a la adición del reactivo de difenilcarbazida, restar la absorbancia medida previamente al valor de la lectura final.

9.2.2 Añadir 2 mL de disolución de difenilcarbazida, mezclar y dejar reposar 10 min para desarrollar el color completamente.

9.2.3 Ajustar el espectrofotómetro con el blanco de reactivos a cero de absorbancia.

9.2.4 Medir la absorbancia a 540 nm en una celda de cuarzo de 1 cm de las muestras y estándares.

9.2.5 Registrar las lecturas de las absorbancias. Determinar los μg de Cr (VI) presentes en la muestra directamente de la curva de calibración.

10 CÁLCULOS

10.1 Calcular la concentración de la muestra en μg Cr (VI) a partir de la ecuación de la recta representada por la siguiente ecuación:



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

$$Y = mX + b$$

donde:

m es la pendiente ;
b es la ordenada al origen;
Y es la absorbancia, y
X son los $\mu\text{g Cr (VI)}$.

10.2 La concentración en mg/L de Cr (VI) se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$\text{mg Cr/L} = \mu\text{g Cr (obtenidos en la curva)} / A$$

donde:

A son los mL de muestra original.

Considerar el empleo de los 102 mL de volumen final para la realización de los cálculos, ya que si el volumen de la muestra esta en 100 mL y posteriormente se realiza la adición de los 2 mL de difenilcarazida no provocará ningún factor de dilución.

Lo anterior siempre y cuando tanto los estándares de la curva de calibración y las muestras sean procesadas de la misma forma.

10.2.1 Reportar los resultados en mg Cr/L, con la precisión correspondiente.

11 INTERFERENCIAS

11.1 Interfieren el vanadio, titanio y hierro en concentraciones mayores de 5 mg/L, reduciendo la recuperación del cromo del 10-30 %. El hierro en su estado de oxidación bivalente reduce al Cr (VI) en una relación molar teórica de 3 moles de Fe (II) por un mol de Cr (VI), en pH ácido se favorece la reacción.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

- 11.2 El Cobre en concentraciones mayores de 100 mg/L, reduce de un 20-30 % la recuperación del cromo.
- 11.3 La reacción con la difenilcarbazida es prácticamente específica para el Cr (VI). Las sales de molibdeno hexavalente y de mercurio reaccionarán para formar color con el reactivo, pero las intensidades son mucho más bajas que para el cromo al pH especificado. Pueden tolerarse concentraciones de hasta 200 mg de Mo/L o Hg/L.
- 11.4 El molibdeno, vanadio y cobre en la muestra pueden causar interferencias. El vanadio interfiere fuertemente, sin embargo en concentraciones de hasta 10 veces las del Cr (VI) no causará problemas.
- 11.5 El Permanganato genera interferencias y el Fe (III) en concentraciones mayores a 1 mg/L puede producir un color amarillo.
- 11.6 Las concentraciones de nitritos mayores a 10 mg/L dan resultados bajos de Cr (VI).
- 11.7 Los sulfitos reducen al Cr (VI) en un medio ácido dando bajos resultados.
- 11.8 Se han identificado muestras de matrices diferentes, las cuales producen un complejo de color amarillo-naranja que interfiere con la determinación. En este caso el analista debe evaluar el efecto de la matriz con muestras adicionadas.
- 11.9 Las muestras con contenido orgánico pueden reducir el cromo (VI) a cromo (III).
- 11.10 Las interferencias de color y turbiedad pueden contrarrestarse con un blanco de muestra. Este debe prepararse igual que la muestra pero sin adicionar la 1,5 difenilcarbazida, la absorbancia del blanco de muestra se resta al de la muestra.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

12 **SEGURIDAD**

- 12.1 No ha sido determinado la carcinogenicidad de todos los reactivos con precisión. Por lo que cada sustancia química debe tratarse como peligrópotencial a la salud. La exposición a estas sustancias debe reducirse almenor nivel posible.
- 12.2 Este método puede no mencionar todas las normas de seguridad asociadas con su uso. El laboratorio es responsable de mantener unambiente de trabajo seguro y un archivo de las normas de seguridadrespecto a la exposición y manejo seguro de las sustancias químicas especificadas en éste método. Debe tenerse un archivo de referencia de las hojas de información de seguridad el cual debe estar disponible a todoel personal involucrado en estos análisis.
- 12.3 El ácido sulfúrico concentrado es un compuesto químico altamente corrosivo y debe manipularse con extremo cuidado. La adición del ácidosulfúrico al agua produce una reacción exotérmica fuerte y debe realizarse muy lentamente.
- 12.4 Cuando se trabaje con alguna de las sustancias químicas descritas en estanorma, deben tomarse las condiciones de seguridad apropiadas. Use ropade protección como: batas de algodón, guantes y lentes de seguridad.
- 12.5 La preparación de todos los reactivos debe ejecutarse dentro de la campana de extracción.
- 12.6 El Cromo (VI) es un carcinógeno cuando es inhalado. Ingerido no hayevidencia de que lo sea. Se debe usar mascarilla.

13 **MANEJO DE RESIDUOS**

Es responsabilidad del laboratorio cumplir con todos los reglamentos federales, estatales y locales referentes al manejo de residuos, particularmente las reglas de identificación, almacenamiento y disposición de residuos peligrosos.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

- 13.1 Cada laboratorio debe contemplar dentro de su Programa de Control de Calidad el destino final de los residuos generados durante la determinación.
- 13.2 Los desechos ácidos se deben neutralizar para su posterior desecho.
- 13.3 Las muestras líquidas que salgan con altos contenidos de cromo hexavalente deben envasarse en recipientes herméticos, almacenar temporalmente tomando todas las precauciones necesarias y después envíaselas al confinamiento de residuos peligrosos.
- 13.4 El laboratorio debe contar con un sitio de almacenamiento temporal de las disoluciones contaminadas que cumpla con las especificaciones de los reglamentos aplicables
- 13.5 Todas las muestras que cumplan con la norma de descarga a alcantarillado pueden ser descargadas en el mismo sistema.

14 BIBLIOGRAFÍA

- NOM-001-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.
- NOM-008-SCFI-1993 Sistema General de Unidades de Medida, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de octubre de 1993.
- NMX-AA-003-1980 Aguas residuales - Muestreo. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.
- NMX-AA-014-1980 Cuerpos receptores - Muestreo. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de septiembre de 1980.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA

- NMX-AA-089/1-1986 Protección al ambiente - Calidad del agua -
Vocabulario - Parte 1. Declaratoria de vigencia publicada en
el Diario Oficial de la Federación el 15 de julio de 1986.
- NMX-AA-115-SCFI-2001 Análisis de agua - Criterios generales para el control de la
calidad de resultados analíticos. Declaratoria de vigencia
publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril
de 2001.
- NMX-AA-116-SCFI-2001 Análisis de agua - Guía de solicitud para la presentación de
métodos alternos. Declaratoria de vigencia publicada en el
Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2001.

Method 7196A, "Chromium, Hexavalent (Colorimetric)", Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods, SW-846, Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, U.S., 1992, pp. 7196A-1 a 7196A-6.

Method 3500-Cr D, "Colorimetric Method", Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Washington, DC 20005, 19th Edition., 1995, pp. 3-59 a 3-60.

Method D-1687-92, "Standard Test Methods for Chromium in Water, 1994", "American Society for Testing and Materials", vol. 11.01, 1994, pp. 492 a 494

Criterios Ecológicos de Calidad del Agua publicados en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 1989.

15 **CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES**

Esta norma mexicana no es equivalente a ninguna norma internacional por no existir referencia alguna al momento de su elaboración.

**México, D.F., a
DIRECTOR GENERAL DE NORMAS**

MIGUEL AGUILAR ROMO

JADS/AFO/DLR/MRG

ANEXO 3

Registro fotográfico de los procedimientos realizados.

a) Obtención del quitosano



Molienda y pesaje de las cáscaras de camarón.



Desmineralización de la cáscara de camarón durante 3 horas, con ácido clorhídrico 0,6 N en relación 1:11 sólido líquido, a 30° de temperatura y agitación constante utilizando un agitador magnético.



Filtrado del remanente utilizando papel filtro y lavando con agua destilada hasta obtener pH neutro.



El remanente de la etapa anterior se somete a desproteínización con una solución de hidróxido de sodio al 1%, en relación 1:6 sólido-líquido, a 28 °C y agitación constante durante 24 horas.



Después de cada etapa, el remanente se filtra y se lava con abundante agua destilada hasta pH neutro.



Desacetilación con solución de hidróxido de sodio al 50% en relación 1:4 sólido-líquido, con agitación constante durante 2 horas a 60 °C y luego 2 durante 2 horas a 100 °C. El producto se lava con agua destilada hasta obtener su neutralidad.

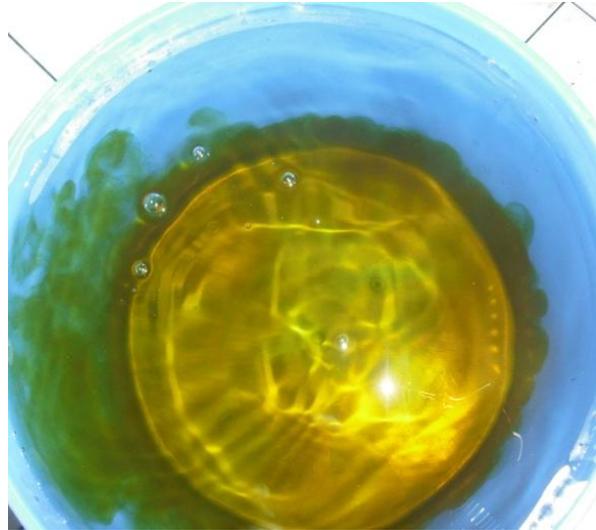


Aspecto del quitosano obtenido y seco.

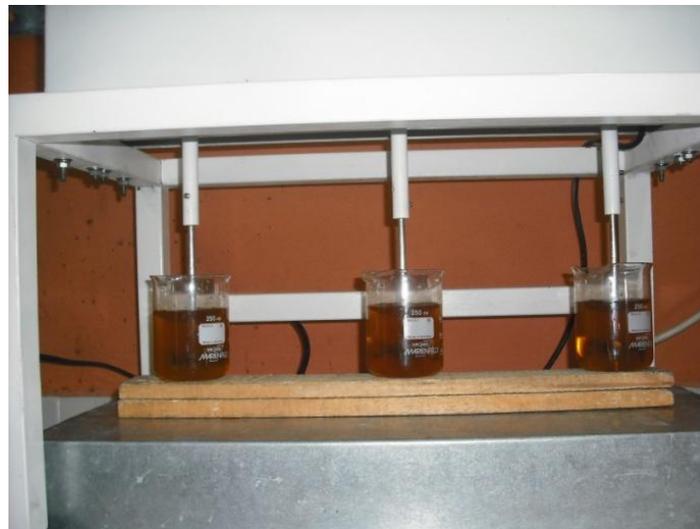
b) Proceso de coagulación – floculación



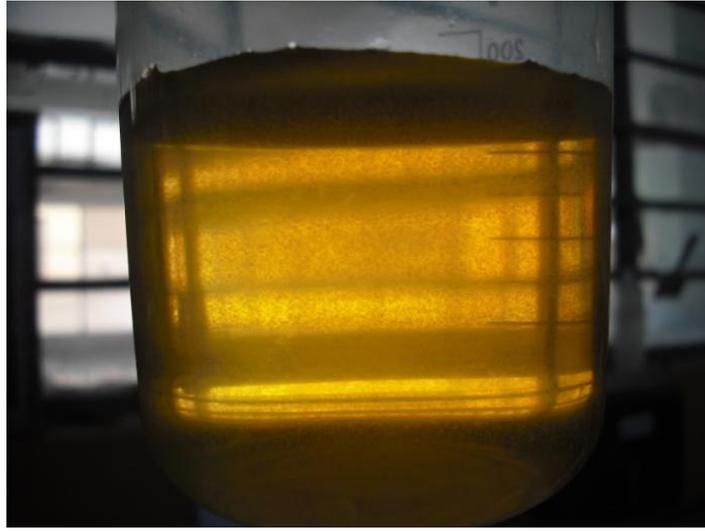
Dicromato de potasio utilizado como contaminante.



Preparación de la solución con dicromato de potasio, se mezclaron 3,15 gr de dicromato de potasio con 21 lts de agua destilada.



Técnica “prueba de jarras” realizada a las muestras de agua contaminada junto con el coagulante.



Flóculos en suspensión formados por acción coagulante del quitosano.

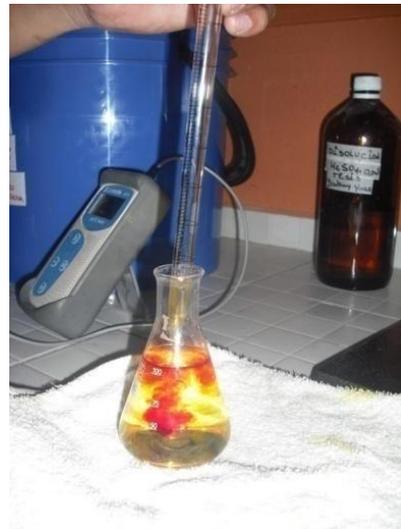


Filtrado de las muestras para eliminar flóculos formados luego de la prueba de jarras.

c) Procedimiento de análisis espectrofotométrico



Ajuste del pH mediante goteo de ácido sulfúrico, antes de realizar la titulación.



Titulación de los 100 ml de la muestra mediante adición de la difenilcarbazida.



Muestras contenidas en las celdas, previo a la lectura en el espectrofotómetro.



Introducción de las muestras dentro del espectrofotómetro.