



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA**

---

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN  
FÍSICO-QUÍMICA DE QUITOSANO A  
PARTIR DE EXOESQUELETO DE  
CAMARÓN PARA SU APLICACIÓN EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

**TESIS PROFESIONAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**P R E S E N T A  
JOSÉ RAMÓN LÓPEZ MUÑOZ**

**DIRECTOR  
M. C. YOVANI LÓPEZ GONZÁLEZ**

**CODIRECTOR  
DRA. GUADALUPE CORELLY SALAZAR SALAZAR**

Misantla, Ver.

Marzo 2022



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

FECHA: 07 de Marzo de 2022.

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN  
DE TESIS PROFESIONAL.

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

**JOSÉ RAMÓN LÓPEZ MUÑOZ**

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 152T0102 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura bajo la opción Titulación Integral (Tesis Profesional)

Por tal motivo se Autoriza la impresión del Tema titulado:

**“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE QUITOSANO A PARTIR DE EXOESQUELETO DE CAMARÓN PARA SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

MII. GRACIELA GPE. AGUILERA ALVAREZ  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

# Índice

## Capítulo I. Generalidades.

1.1 Introducción .....	7
1.2 Planteamiento del Problema. ....	8
1.3 Justificación .....	9
1.4 Objetivos .....	10
1.4.1 Objetivo General. ....	10
1.4.2 Objetivos específicos. ....	10
1.5 Hipótesis .....	10

## Capítulo II. Marco teórico

2.1 Biopolímeros.....	11
2.1.1 Generalidades.....	11
2.1.2 Origen Animal. ....	11
2.1.3 Origen Agrícola. ....	12
2.1.4 Origen Bacteriano. ....	12
2.2 Quitina y Quitosano .....	13
2.2.1 Quitina.....	13
2.2.2 Quitosano. ....	15
2.2.3 Fuentes de obtención de quitina y quitosano. ....	15
2.2.4 Propiedades del quitosano.....	16
2.2.5 Aplicaciones del quitosano. ....	17
2.3 Residuos de camarón. ....	19
2.3.1 Generalidades.....	19
2.3.2 La industria camaronera.....	20

2.4 Contaminación del Agua.....	20
2.4.1 Generalidades.....	20
2.4.2 Tipos y Fuentes de Contaminación.....	22
2.5 Cromo.....	33
2.5.1 Generalidades.....	33
2.5.2 Aplicaciones.....	33
2.5.3 Toxicidad.....	35
2.6 Coagulación.....	36
2.6.1 Generalidades.....	36
2.6.2 Tipos de coagulantes.....	37

### **Capítulo III. Metodología.**

3.1 Área Experimental.....	38
3.2 Obtención de la Materia Prima.....	38
3.3 Procesamiento de la Materia Prima.....	39
3.3.1 Pre-procesamiento.....	39
3.3.2 Desproteínización.....	39
3.4 Aislamiento del Quitosano.....	41
3.4.1 Método Indirecto.....	41
3.6 Caracterización del Quitosano.....	43
3.6.1 Porcentaje de Humedad.....	43
3.6.2 Grado de N-Desacetilación.....	44
3.6.3 Porcentaje de Materia Insoluble.....	45
3.6.4 Rendimiento Global.....	45
3.6.5 Viscosidad.....	46

### **Capítulo IV. Resultados y discusión.**

4.1. Generación de Quitosano.....	48
4.1.1 Desproteínización.....	48
4.1.2 Desmineralización.....	48
4.2 Caracterización del Quitosano.....	49
4.2.1 Grado de desacetilación.....	49
4.2.2 Porcentaje de humedad.....	51
4.2.3 Rendimiento global.....	52
4.2.4. Porcentaje de materia insoluble.....	53
4.2.5 Viscosidad.....	54

**Capítulo V. Conclusiones.**

**Capítulo VI. Bibliografía.**

## Índice de tablas.

Tabla 2.1 Tipos de quitosano de acuerdo a su viscosidad	17
Tabla 2.2 Tipos de pesticidas, modo de acción y grupo químico presente	27
Tabla 2.3 Pesticidas y sus efectos	29
Tabla 2.4 Metales encontrados en colorantes	34
Tabla 4.1 Neutralización de pH y gasto de agua destilada en la desproteínización	48
Tabla 4.2 Neutralización de pH y gasto de agua destilada en la desmineralización	49
Tabla 4.3 Grado de desacetilación	50

## Índice de figuras.

Figura 2.1 a) Hongo <i>Rhizopus oryzae</i> , b) Insecto <i>Brachystola magna</i>	14
Figura 2.2 Estructura de la Quitina	14
Figura 2.3 Estructura del Quitosano	15
Figura 2.4 Descarga de agua residual en comunidad	21
Figura 3.1 Ubicación del ITSM	38
Figura 3.2 Selección del exoesqueleto	39
Figura 3.3 Desproteínización	40
Figura 3.4 Desmineralización de L1R3	41
Figura 3.5 Desacetilización L1R3	43
Figura 3.6 Titulación de L1R3	44
Figura 3.7 Quitosano obtenido L1R3	46
Figura 3.8 Viscosímetro de Ostwald	47
Figura 4.1 Valoración potenciométrica de todos los lotes	50
Figura 4.2 Porcentajes de humedad	51
Figura 4.3 Rendimiento global de quitosano	52
Figura 4.4 Porcentaje de materia insoluble	53
Figura 4.5 Viscosidad del quitosano	54

# Capítulo I. Generalidades.

## 1.1 Introducción.

El creciente desarrollo industrial que radica en la progresiva demanda de productos por parte de la sociedad, ha provocado serios problemas de contaminación ambiental, siendo la contaminación del agua uno de los que se presentan más comúnmente. El cromo es un metal que se encuentra presente en una gran cantidad de aguas proveniente de procesos industriales. Un ejemplo de estas industrias son las de producción de aleaciones, de curtido al cromo, de cromado, elaboración de pinturas como tratamiento antioxidante, entre otros. Es necesario el desarrollo de proyectos enfocados en la solución de esta problemática, empleando materiales naturales, con propiedades adecuadas para la remoción de cromo. Uno de estos materiales es el quitosano, que puede ser obtenido a partir de exoesqueletos de camarón, ya que estos son residuos orgánicos que contribuyen a los problemas de contaminación ambiental y pueden ser aprovechados para solucionar otra problemática ambiental dándole así un valor agregado. Los residuos de camarón, entre los que se encuentran los exoesqueletos, generados en las pescaderías y restaurantes son considerados Residuos de Manejo Especial (RME) (LGPGIR, 2003). Estos emiten olores desagradables, provocando así contaminación olfativa y también contaminación visual (CIDETEQ, 2018). Generalmente no se le da un tratamiento o una disposición final adecuada a este residuo, simplemente se deshecha en terrenos abandonados o se entregan al camión recolector de residuos quien los lleva hasta un tiradero local, es decir, la disposición final es similar, solamente cambia el sitio donde es colocado. Esta acción provoca que el lugar donde son situados se convierta en un foco de infecciones y un problema de salud pública. El uso de este tipo de desechos fomenta la reducción de esta problemática, dándole un valor agregado a este RME y solucionando otro inconveniente como la contaminación del agua por cromo. Ya que este metal pesado en su forma hexavalente tiene propiedades mutagénicas y carcinógenas (Carretero, 2005). El desarrollo experimental se llevó a cabo mediante un proceso de modificaciones físico-químicas de los exoesqueletos de camarón para lograr generar el Quitosano necesario, posteriormente el biopolímero obtenido fue caracterizado de diversas formas para finalmente llegar a la conclusión de que este quitosano es adecuado para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales.

## 1.2 Planteamiento del Problema.

Estudios recientes han demostrado la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y en distintos cultivos que consumimos de forma regular como: lechuga, repollo, calabaza, brócoli, papa y piña (Singh *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2013; Ramírez-Ghiorzo & Vargas-Salinas., 2017). La causa principal de esta problemática es el uso de agua contaminada para el riego de cultivos (Singh *et al.*, 2003; Fransisca, *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2015).

La contaminación del agua por metales pesados es uno de los principales problemas a nivel local y global, esta problemática es derivada principalmente por actividades antropogénicas como el empleo de metales pesados en procesos industriales, el uso excesivo de agroquímicos y la minería, entre otros, siendo la primera la principal causa de contaminación de agua por cromo. Este metal pesado puede circular a través de la red trófica dando paso a la bioacumulación y la biomagnificación causando así afectaciones a la salud de los organismos que interactúen con este.

Desgraciadamente en nuestro país las autoridades y la sociedad en general no le brindan la importancia que se merece a esta problemática, esto debido principalmente a que se tienen pocos registros de tratamientos exitosos para la remoción de dicho metal y los cuales son muy costosos. A pesar de que se sabe que en México los principales metales contaminantes, considerando su toxicidad y abundancia son: Mercurio (Hg), Arsénico (As), Plomo (Pb) y el Cromo (Cr) (Fernández-Bremauntz *et al.*, 2004; Volke-Sepulveda *et al.*, 2005; Romero & Gutiérrez-Ruiz, 2010), las investigaciones realizadas se limitan a el análisis del Cromo y no se le ha dado un enfoque a la remoción de este metal.

Otro problema en el país es la mala disposición final de los exoesqueletos de camarón, estos son considerados Residuos de Manejo Especial (RME), por lo tanto, se les debe dar un tratamiento y una disposición final adecuada y no solamente desecharlos como se acostumbra.

### **1.3 Justificación**

Es necesaria la creación de nuevos métodos para la remoción de cromo en aguas residuales. Estos métodos deben ser efectivos, económicos y de fácil acceso a estos debido a que la mayor producción de cultivos proviene principalmente de pequeños productores los cuales son sobre todo personas de escasos recursos en zonas rurales o poco urbanizadas. Debido a esto no les es posible invertir en métodos cuantiosos de remoción de metales, ya que afectarían de forma significativa su economía y no les sería rentable.

En México la industria pesquera genera una gran cantidad de RME siendo los exoesqueletos de camarón uno de ellos. Si no se les da un manejo adecuado a estos residuos pueden provocar contaminación visual y olfativa.

Se sabe que de estos exoesqueletos se puede obtener el biopolímero quitosano, mediante un proceso químico de N-desacetilación de la quitina presente en dichos exoesqueletos. Esto se conoce gracias a que el quitosano tiene una gran variedad de aplicaciones en alimentación, medicina, agricultura, cosmética y farmacia (Velázquez, 2006), entre otros. Además, se tienen algunos registros de que el quitosano es un biopolielectrolito y un biosorvente capaz de remover contaminantes en agua.

Las propiedades del quitosano mencionadas anteriormente pueden ser aprovechadas en la remoción de cromo en aguas evitando así afectaciones a la salud por el consumo de cultivos contaminados y dándole un valor agregado a este residuo, minimizando la producción de Residuos de Manejo Especial y combatiendo una problemática ambiental con gran cantidad de afectaciones a la salud pública.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General.**

Obtener un biopolímero de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón.

### **1.4.2 Objetivos específicos.**

- Obtener la quitina presente en los exoesqueletos de camarón.
- Desacetilizar la quitina obtenida para generar quitosano.
- Evaluar la calidad del quitosano obtenido por medio de una caracterización físico-química.

## **1.5 Hipótesis**

Mediante el proceso de desacetilación es posible obtener quitosano con la calidad necesaria para la remoción de metales pesados en agua.

## **Capítulo II. Marco teórico.**

### **2.1 Biopolímeros**

#### **2.1.1 Generalidades**

Los biopolímeros son macromoléculas presentes en la mayoría de los seres vivos, estos tienen propiedades termoplásticas y físico-químicas muy similares a los polímeros obtenidos del petróleo. La diferencia entre estos dos tipos de polímeros es que los biopolímeros se degradan fácilmente en moléculas de menor peso molecular las cuales pueden ser aprovechadas como sustrato por los microorganismos, lo contrario de los polímeros fabricados a partir de petróleo (Valero-Valdieso *et al.*, 2013).

Estos materiales presentan cualidades como biodegradabilidad, son frágiles, hidrofílicos y presentan una baja resistencia térmica a la deformación, eso provoca que su uso de forma comercial sea muy escaso (Orrego & Rodríguez, 2016).

De acuerdo con Tharanathan (2003) los biopolímeros provienen de cuatro fuentes principales de origen natural: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (quitina/quitosano), origen agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y de origen microbiano (ácido poliláctico y polihidroxialcanoatos).

#### **2.1.2 Origen Animal.**

Estos son polímeros sintetizados a partir de seres vivos, el principal biopolímero de origen animal es el colágeno, el cual es una proteína la cual se encarga de mantener la unión entre las estructuras de los tejidos en organismos. Este se encuentra presente en gran cantidad de tejidos como los tendones, la piel y tejidos conectivos, así como en algunas proteínas fibrosas de los animales (Villada *et al.*, 2007).

Es comúnmente empleado en la producción de biopelículas comestibles (membranas delgadas que en su composición se encuentra el colágeno) y cosméticos (Tharanathan, 2003). De igual forma se aplica en las biopelículas cicatrizantes de heridas (Prockop & Guzman, 1981).

La gelatina es otro biopolímero de origen animal, la cual es un derivado del colágeno, y se produce a partir de la hidrólisis parcial de éste (Norziah *et al.*, 2009; Khiari, *et al.*, 2011).

Se emplea en forma de películas gruesas y flexibles, su aplicación es más extensa que la del colágeno, esto se atribuye a sus propiedades fisicoquímicas, térmicas y reológicas (Ramírez-Guerra *et al.*, 2013) que la hacen tener mejores cualidades que su precursor.

### **2.1.3 Origen Agrícola.**

Los hidrocoloides y sus lípidos son biomoléculas de origen agrícola. Su principal aplicación se da en la industria alimentaria. Estos son empleados en empaques biodegradables. Los hidrocoloides son hidrofílicos y permeables al paso del agua en cambio los lípidos son hidrofóbicos y no permiten el paso del agua (Villada *et al.*, 2007).

Los hidrocoloides son biopolímeros de cadena larga y un alto peso molecular (mayor a los 80 kDa), tienen la capacidad de ser diluidos fácilmente en el agua, provocando un efecto espesante en el fluido (Rodríguez *et al.*, 2003).

La principal aplicación de los hidrocoloides se da dentro de la industria alimentaria, como texturizante de yogurt (Cárdenas *et al.*, 2013). Cambiando la consistencia y la textura del producto, sin afectar su sabor.

Por otro lado, los lípidos son generalmente empleados como ácidos grasos y sus aplicaciones son más limitadas, destacando entre ellas su aplicación en la medicina y nutrición (Granados *et al.*, 2006).

### **2.1.4 Origen Bacteriano.**

La producción de biopolímeros de origen bacteriano se da cuando los microorganismos fermentan alguna fuente de carbono produciendo polihidroxialcanoatos (PHA), estos biopolímeros son acumulados y empleados por algunas bacterias como fuente de carbono y de energía (Mutlu & Meier, 2010). A nivel industrial, estos biopolímeros son empleados como sustituto de los poliésteres producidos a partir de petroquímicos, esto debidos a que pueden ser degradados por los microorganismos hasta dióxido de carbono y agua (en condiciones aerobias) y en metano (en

condiciones anaerobias), todo esto por acción de las enzimas PHA-despolimerasa y PHA-hidrolasas (Valero-Valdivieso *et al.*, 2013).

Los PHA podrían remplazar a los polímeros de origen petroquímico, debido a que pueden ser sintetizados por microorganismos que usen como sustrato desechos agroindustriales, lo cual representa una producción de biopolímeros con propiedades similares a las de los polímeros derivados del petróleo, pero con un costo bajo (o nulo) de producción (Lemos & Mina, 2015).

La extracción de los biopolímeros de origen bacteriano se da cuando los microorganismos emplean el azúcar de un sustrato, que en estos casos son plantas (ejemplo, el maíz), y la usan para llevar a cabo sus procesos celulares, generando como residuo subproductos como polímeros, que posteriormente pueden ser separados de la masa microbiana (Pérez-Rodríguez, 2010).

## **2.2 Quitina y Quitosano**

### **2.2.1 Quitina**

La quitina es un polisacárido presente en caparazones de crustáceos, halas de insectos, algas, paredes celulares de hongos, etc. Es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza, solamente es superada por la celulosa (Laréz, 2006).

La principal fuente de obtención de la quitina son los exoesqueletos de crustáceos, aunque también se encuentra en menores concentraciones en la pared celular de algunos hongos, como *Fusarium solani* (Paz-Lago *et al.*, 1999), *Rhizopus oryzae* (Figura 2.1 a) (Yu & Hang, 1989; Wei *et al.*, 2008), por mencionar algunos. De igual forma puede obtenerse con características aceptables, similares a la quitina comercial y con propiedades adecuadas en el insecto *Brachystola magna* (Figura 2.1 b) (Monter-Miranda *et al.*, 2016).

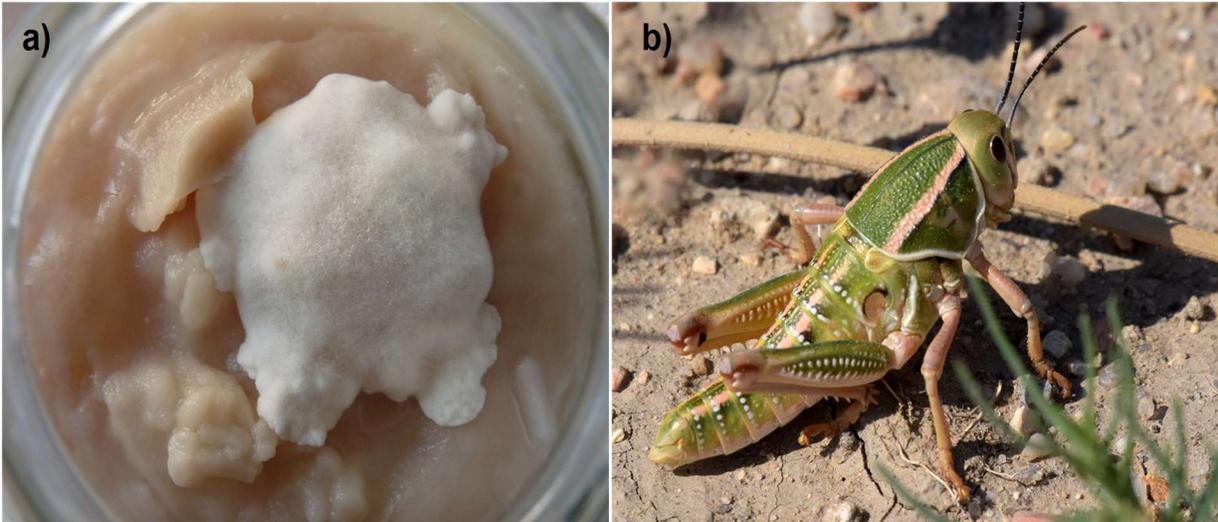


Figura 2.1 a) Hongo *Rhizopus oryzae*, b) Insecto *Brachystola magna*.

En la figura 2.2 se muestra la estructura de la quitina, la cual es un copolímero lineal formado por unidades de glucosamina y en menor medida de *N*-acetil D-glucosamina unidos por enlaces  $\beta$  1-4, cuya denominación química, según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), es 2-amino-2-desoxi-D-glucopiranososa (D-glucosamina GlcN) y 2-acetamida-2-desoxi-D glucopiranososa-*N*-acetil glucosamina (Sato *et al.*, 1998).

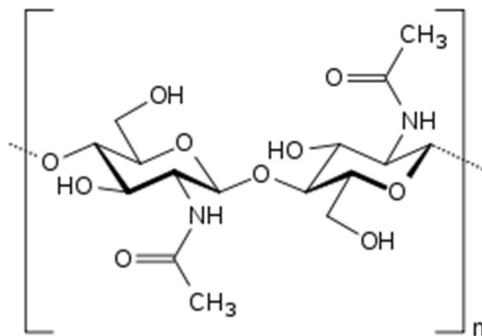


Figura 2.2 Estructura de la quitina.

A este polisacárido se le atribuyen propiedades como: el enlazamiento con sustancias cargadas negativamente, por ejemplo: lípidos, proteínas, colorantes, por mencionar algunas; también se le conoce por ser un buen adsorbente, floculante y adherente (Rodríguez-Predrozo *et al.*, 2009). De igual forma cuenta con propiedades antimicrobianas (Lárez-Velásquez, 2008).

Una importante área de aplicación es en la farmacéutica, ya que la quitina es un excelente cicatrizante, el cual favorece y acelera la curación de heridas corporales (Goodman, 1989). Este punto ha llamado la atención de diversos investigadores, por lo que se desea emplear en la producción de nuevos fármacos (Polo-Galindo, 2016).

### 2.2.2 Quitosano

Este biopolímero fue descubierto en el año 1859. Es un polisacárido lineal compuesto de cadenas distribuidas aleatoriamente de  $\beta$ -(1-4) D-glucosamina (unidades deacetiladas) y *N*-acetil-D-glucosamina (unidad acetilada) (Nakamatsu, 2012).

En su forma natura, el quitosano es muy poco común en el ambiente, la forma convencional de obtención de este biopolímero es mediante la desacetilación de la quitina, sometiéndola a un medio altamente alcalino (Barra et al., 2012).

El quitosano (Figura 2.3) no es una molécula única, muestra un cierto grado de variación en el tamaño de las cadenas y en el grado de acetilación de las mismas (Barra *et al.*, 2012).

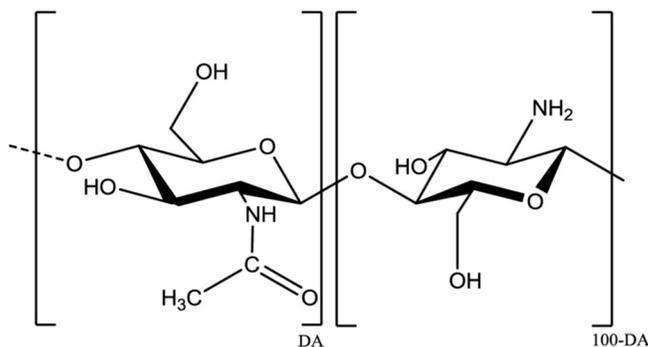


Figura 2.3 Estructura del quitosano.

### 2.2.3 Fuentes de obtención de quitina y quitosano.

La quitina se encuentra presente en los exoesqueletos de los artrópodos, como insectos, arácnidos, crustáceos, entre otros (Nieto & Orellana, 2011). Las principales fuentes de quitina en el ambiente son los exoesqueletos de camarón y cangrejo, sin embargo, estos suelen tener impurezas como proteínas, lípidos, pigmentos y algunos minerales, por tal motivo es necesario realizar procedimientos de depuración para alcanzar un grado de pureza adecuado (Percot, *et al.*, 2003; Pastor, 2004).

#### **2.2.4 Propiedades del quitosano.**

El quitosano es un polímero no tóxico, biodegradable, con un gran poder como emulsionante, absorbente y adsorbente, además se le atribuyen propiedades antifúngicas, antimicrobianas y antivirales (Omicromo, 2016). Su apariencia física es la de un material sólido, blanco, amorfo, con un gran parecido a la quitina (Casco & Ventura, 2007).

En la literatura se enuncian diversas de las propiedades funcionales y físicoquímicas del quitosano (Hernández-Cocoletzi *et al.*, 2009), como que es un biopolímero policatiónico (Bautista-Baño *et al.*, 2005), es soluble en ácidos orgánicos y soluciones neutras, gracias a que el grupo amino presente en este posee una carga ligeramente positiva (Orellana & Ulloa, 2011). Al realizar la desacetilación de la quitina esta pierde alrededor de 50 % de los grupos acetilo, por ello se convierte en quitosano. Esto le otorga la capacidad de disolverse en soluciones acuosas (Peniche, 2006).

##### **2.2.4.1 Grado de desacetilación.**

Este permite identificar si el biopolímero obtenido es quitina, quitosano o quitano (Giraldo-Pedraza, 2015). Además, tiene influencia en la viscosidad (la viscosidad de las soluciones de quitosano aumenta al incrementarse la concentración de esta, mientras que disminuye al elevar la temperatura y el grado de desacetilación), ya que el quitosano se comporta como un polielectrolito produciendo interacciones repulsivas electrostáticas entre los grupos aminos ionizados a lo largo de la cadena polimérica (Casco & Ventura, 2007).

##### **2.2.4.2 Peso molecular.**

Usualmente este biopolímero presenta pesos moleculares altos, la variación de este dependerá del material precursor y del tratamiento por el cual es obtenido (Paz *et al.*, 2013). Teniendo el conocimiento de este valor se pueden estimar comportamientos reológico y mecánicos, como su coeficiente de fricción y de sedimentación, su volumen hidrodinámico, entre otras (Yamakawa, 2001).

##### **2.2.4.3 Viscosidad**

Normalmente se denomina a la viscosidad como la resistencia que poseen los líquidos para fluir o deformarse, el quitosano al ser polímero sólido carece de esta propiedad, sin embargo, este

biopolímero es soluble en sustancias orgánicas y de esta forma se puede obtener su viscosidad. Esta se ve influenciada por la concentración de quitosano diluido en una sustancia orgánica, la temperatura y el grado de desacetilación (Paz *et al.*, 2013). La viscosidad del quitosano se puede ver modificada si las condiciones de almacenamiento no son las adecuadas, esto sucede comúnmente cuando es almacenado por tiempos largos a temperaturas superiores a los 38°C (Casco & Ventura, 2007). La viscosidad del quitosano se clasifica en tres tipos los cuales se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Tipos de quitosano de acuerdo a su viscosidad.

No.	Quitosano	Viscosidad (cP)
1	Quitosano de baja viscosidad	< 50
2	Quitosano de mediana viscosidad	50 – 200
3	Quitosano de alta viscosidad	200 – 800

Fuente: Casco & Ventura, 2007.

#### 2.2.4.4 Solubilidad

El quitosano es un compuesto sólido, pero al mezclarlo con un ácido orgánico se ionizan sus grupos amino con los iones  $H_3O^+$  disponibles en la solución (Giraldo-Pedraza, 2015). Al igual que la viscosidad, la solubilidad puede cambiar si el quitosano es almacenado por periodos largos de tiempo a una temperatura superior a los 38°C (Casco & Ventura, 2007).

#### 2.2.4.5 Biodegradabilidad

Se dice que un compuesto es biodegradable cuando este puede ser desintegrado por acción biológica para posteriormente ser incorporado al ambiente. Esta es una característica muy llamativa, ya que el quitosano presenta una alta biodegradabilidad, es decir, el tiempo en el que este se degrada en el ambiente es menor que el de los materiales empleados comúnmente. Por ello es comúnmente empleado en la fabricación de biopelículas (Alvarado *et al.*, 2007). Esta característica y la baja toxicidad del quitosano han provocado que incluso se realicen biopelículas comestibles a partir de este biopolímero (García, 2008).

#### 2.2.5 Aplicaciones del quitosano

El quitosano tiene una gran variedad de aplicaciones en diversas áreas, esto a causa de la variedad de propiedades fisicoquímicas y biológicas que este biopolímero presenta (Giraldo-Pedraza, 2015). Dentro de las propiedades se pueden enunciar que es un excelente biosorbente, ya que tiene

la capacidad de retener contaminantes (metales pesados) presentes en soluciones acuosas (Hernández, 2004), por lo cual es empleado en la producción de membranas para la remoción de contaminantes, al igual que en la fabricación de biopelículas (López, 2014). Dentro de las principales áreas de aplicación del quitosano se encuentran la medicina, la agricultura, el tratamiento de aguas, entre otros.

#### **2.2.5.1 Medicina**

La quitina es empleada en la medicina como un agente cicatrizante, antibiótico, por mencionar algunas aplicaciones (Araujo *et al.*, 2018; Guijarro *et al.*, 2017). A partir de este se pueden producir cremas bactericidas, vendajes, gasas, hidrogeles para la liberación de fármacos, etc. (Beltrán, 2010; Harris, 2010). Inclusive es utilizado en la oftalmología para la fabricación de lentes de contacto, esto a causa de estabilidad mecánica, claridad óptica, permeabilidad a gases y compatibilidad inmunológica (Beltrán, 2010).

#### **2.2.5.2 Agricultura**

La forma más común de aplicación en esta área es como recubrimiento de semillas y agente bactericida y fungicida (Beltrán, 2010). Estas aplicaciones se le atribuyen a la facilidad mecánica del biopolímero, su naturaleza policatiónica y el efecto inhibitor en la síntesis de enzimas (Bautista-Baño *et al.*, 2005).

#### **2.2.5.3 Biopelículas**

Las propiedades físicas y mecánicas (biodegradabilidad, maleabilidad, resistencia térmica, entre otras) del quitosano han provocado que el desarrollo de biopelículas para diversas aplicaciones crezca a pasos agigantados (Harris, 2010). La producción de biopelículas se realiza mediante la disolución del biopolímero en ácidos orgánicos (como el fórmico, acético y propiónico) y a esta solución se agrega un componente plastificante que aporte estabilidad mecánica al secarse (Matínez-Camacho, 2009).

#### **2.2.5.4 Tratamiento de aguas**

El quitosano también tiene diversas aplicaciones ambientales, una de las más comunes se da en el tratamiento de aguas, en donde este biopolímero es empleado como un floculante y coagulante

orgánico, ya que este presenta diversas ventajas sobre los productos químicos usados comúnmente en la misma operación (Fuentes *et al.*, 2008). Dichas ventajas son: se requiere de menor cantidad de producto por volumen de agua tratada, presenta una mayor separación entre las fases, se generan menores volúmenes de lodos residuales, no es dependiente del pH, entre otros (Giraldo-Predraza, 2015).

#### **2.2.5.5 Biotecnología**

Es comúnmente empleado en los biorreactores, ya que actúa en la inmovilización enzimática, separador de proteínas, inmovilización celular y en la producción de proteínas de única célula (Nieto & Orellana, 2011). El Quitosano tiene la facilidad de disolverse en soluciones neutras y ácidos orgánicos, esto hace que el biopolímero tenga mayores aplicaciones biotecnológicas que la quitina, a partir de esto se han desarrollado nuevas formas de aplicación del quitosano como lo son las nanopartículas de quitosano, las cuales son empleadas en diversos procesos industriales (Trichodex, 2016).

### **2.3 Residuos de camarón**

#### **2.3.1 Generalidades**

A nivel mundial son desechadas miles de millones de toneladas de residuos de la industria camaronesa, los cuales son simplemente rechazados y automáticamente se convierten en basura, dando paso a una problemática de contaminación ambiental (Hernández-Cocoletzi *et al.*, 2009).

Los residuos de camarón son considerados en la Ley General de Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003) en su artículo 7, fracción III, como Residuos de Manejo Especial (RME). Por lo tanto, al ser desechados se les debe someter a un tratamiento y una disposición final adecuada y no solamente desechados como los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Desafortunadamente, esto no se realiza y no se le toma la importancia que se merece. Esto genera una problemática de contaminación visual y olfativa (CIDETEQ, 2018), debido a que estos residuos generan olores fétidos y en su proceso de descomposición se tornan de una apariencia poco agradable.

### **2.3.2 La industria camaronera**

En México la producción de camarón representa el 90 % de la producción acuícola total. En 2009 se generaron 130 mil toneladas con un valor monetario aproximado a los 670 millones de dólares (CONAPESCA, 2010). Esto ha traído como consecuencia el aumento en las granjas de producción de este artrópodo, lo cual causa impactos ambientales negativos sobre el ecosistema (Gräslund, 2003).

En 2017 se registró un aumento en la producción de camarón de un 14.9% con respecto al año anterior, generando 146,835 toneladas, 19,011 toneladas más que en 2016 (Tellez-Castañeda, 2018).

Los estados de Sinaloa y Sonora aportan el 85.1% de la producción nacional de camarón, con 62,792 y 62,100 toneladas respectivamente (Tellez-Castañeda, 2018). Sin embargo, la variabilidad en el mercado, el ambiente y algunas enfermedades en el producto han provocado en el país que la producción de camarón sea de alto riesgo e incertidumbre económica (Espinosa & Bermúdez, 2012) lo que provocaría un impacto en esta actividad.

## **2.4 Contaminación del Agua**

### **2.4.1 Generalidades**

El agua es uno de los recursos de mayor importancia para el desarrollo de la vida. Todos los procesos biológicos dependen de este recurso. El agua cubre el 71% de la superficie terrestre y más del 96% es agua salada. De la porción total de agua dulce de nuestro planeta, más del 68% se encuentra en forma de hielo en los polos, un 30% se encuentra en el subsuelo (LaRed21, 2013) y solo el 2% restante es aprovechable por los seres vivos. Lo que indica que la cantidad que podemos emplear en procesos agrícolas, industriales y domésticos es muy pequeña, y se ve representada solo por el 0.04% del agua total en el planeta (Agua.org, 2017).

La OMS (2017) define que el agua se encuentra contaminada cuando existe la presencia de algún factor físico, químico o biológico que no sea nativo de este recurso o que se encuentra en concentraciones superiores a las que el sistema acuático puede controlar.

La contaminación del agua es un problema que afecta a la sociedad en general, causando preocupación en los gobiernos y las organizaciones, ya que la UNESCO (2017) declaró que más del 80 % de las aguas residuales que se generan en el mundo son desechadas en los ecosistemas o bien, dentro de la misma zona donde se encuentra la población, sin ningún tipo de tratamiento (Imagen 2.4). Por lo tanto, es necesaria la concientización acerca de la escasez del agua y su adecuado manejo, esto mediante la protección y recuperación de los ecosistemas que tienen una relación directa con este recurso, entre otros aspectos, como se menciona en el punto número 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible formulados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2018).

El suministro de agua para el uso doméstico, recreativo, la producción de alimentos y la agricultura requieren agua de calidad, por lo tanto, la conservación de este recurso es una acción de gran importancia. Otro punto que también es de suma importancia es el tratamiento de las aguas residuales, ya que se estima que el 80% de las aguas residuales mundiales son descargadas en vías fluviales sin algún tratamiento (PNUD, 2018), o el tratamiento es inapropiado, siendo descargadas en sitios que no cumplen con las especificaciones requeridas para la descarga de aguas residuales (Figura 2.4). Lo que puede generar diversas repercusiones en la población que se encuentre en contacto con estas aguas (PNUD, 2018).



*Figura 2.4* Descarga de agua residual en comunidad.

Las principales afectaciones sobre la salud que genera la falta de tratamiento de aguas residuales sobre la población son enfermedades diarreicas, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la

poliomielitis. Se calcula que estas enfermedades causan alrededor de 1.5 millones de muertes cada año (OMS, 2012).

## **2.4.2 Tipos y Fuentes de Contaminación**

Existen distintos tipos y fuentes de contaminación del agua, dentro de los tipos podemos encontrar contaminación por productos químicos tóxicos, radiación o por agentes infecciosos, por mencionar algunos (ONU, 2018). Mientras que en las fuentes de contaminación podemos encontrar diversas fuentes, como lo son la contaminación por aguas residuales, por metales pesados, dispersión de hidrocarburos y contaminación de origen natural (Calvo-Flores, 2008).

### **2.4.2.1 De Origen Natural**

El agua pura, es decir, que solo sea un líquido de moléculas de óxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O), no existe en la naturaleza, ya que en esta siempre contiene sales que forman parte de su composición (Edén Springs España, 2019). Esto hace que el agua en ciertas ocasiones sea considerada contaminada, ya que las sales pueden encontrarse en altas concentraciones debido a factores ambientales del medio en el que se encuentra el agua, es ahí donde se considera contaminación del agua por origen natural.

Este tipo de contaminación es causado por distintas fuentes, es decir, puede ser causada por la escorrentía de metales, materia orgánica, entre otras fuentes. Si bien es un hecho que la mayoría de los contaminantes que provocan este tipo de contaminación no se encuentran en altas concentraciones, pueden existir excepciones, principalmente en zonas aledañas o que tengan alguna relación con yacimientos minerales (García, 2009).

La contaminación del agua de origen natural también puede darse a través del ciclo hidrológico, ya que el agua puede entrar en contacto con diversos compuestos que se encuentren presentes en la misma agua, la atmósfera y el suelo. Los contaminantes que más se presentan en estos casos son elementos como el cadmio y arsénico, además de algunas bacterias o gases presentes en la atmósfera (Gil *et al.*, 2012).

### **2.4.2.2 Por Aguas Residuales**

Según la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 las aguas residuales son aguas de composición variada que han sido empleadas en procesos industriales, comerciales, de servicios, agrícolas,

pecuarios o domésticos. Incluso en algunas ocasiones estas son mezcladas y descargadas sin algún tratamiento en aguas superficiales (ríos, lagos, mares, etc.), iniciando aquí la contaminación por estas.

Este tipo de contaminación es una de las más comunes y una de las que más problemas de salud pública causan. Esta es originada por las descargas de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento previo a su desecho. La OMS (2017) reporta que 1,800 millones de personas se abastecen y consumen aguas contaminadas con heces, ya sea de origen animal o humano, provocando enfermedades como diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis. Se estima que el consumo de agua potable contaminada provoca 502,000 muertes por diarrea al año (OMS, 2017).

Las aguas residuales pueden clasificarse de 3 tipos principales, las cuales son domésticas, industriales y urbanas.

- a) Domésticas: Son las aguas que se generan en las viviendas, a partir de las actividades cotidianas que requieren de este recurso (Hidrotec, 2016), posteriormente estas son vertidas al alcantarillado urbano y liberadas al ambiente o a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para su tratamiento.
- b) Industriales: Son provenientes de procesos industriales y su composición varía de acuerdo a la actividad productiva y de otros factores. Pueden presentar altas cargas orgánicas (materia orgánica), compuestos químicos biodegradables, no biodegradables y sustancias inorgánicas (Ramalho, 2003).
- c) Urbanas: Estas son la combinación de las dos anteriores, por lo las características que estas presentan las hacen diferentes a cualquiera de las dos que dieron origen a estas (Condorchem Envitech, 2019).

Las aguas residuales presentan diversas características dependiendo de la fuente generadora, un agua residual doméstica no tiene las mismas propiedades físicas, químicas y biológicas que un agua residual industrial, al igual que un agua proveniente de una industria textil no presentará las mismas características que el agua proveniente de un ingenio azucarero (Muñoz-Cruz, 2008). De forma resumida, las principales características que presentan las aguas residuales son: alta turbidez, elevadas cargas orgánicas, una moderada Demanda Química de Oxígeno (DQO) y presencia de metales pesados (Raffo & Ruíz, 2014).

Si bien es cierto que las aguas residuales generan repercusiones sobre la salud de la población, también causan problemas a los ecosistemas donde estas son descargadas, estas afectaciones pueden generar alteraciones dentro del ecosistema, lo cual conlleva una degradación de este o hasta su pérdida (Bravo-Inclán, 2003). Las afectaciones al ecosistema se dan debido a que el cuerpo de agua donde se encuentra la descarga no puede absorber o neutralizar los contaminantes, modificando sus propiedades y disminuyendo su capacidad para sustentar vida acuática, alterando el equilibrio ecológico del ecosistema (Rodríguez-Pimentel, 2017).

#### **2.4.2.3 Por Metales Pesados**

Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González (2016) expresan que en el ambiente se pueden encontrar los metales pesados debido a dos diferentes causas, de forma natural y por causas antropogénicas. La primera se da cuando en el suelo hay presencia de metales nativos de esa zona, mientras que la segunda se da debido a las actividades desarrolladas por el hombre, que dejan como residuo estos contaminantes.

Estos metales circulan por la cadena alimenticia desde el suelo hasta los depredadores secundarios. Estos elementos se incorporan a las plantas de una forma similar al agua, son absorbidos por medio de las raíces usualmente como sales o minerales disueltos en el agua presente en el suelo (Wall, 2002). Posteriormente, son consumidos por los herbívoros y a su vez éstos son consumidos por los depredadores, dando paso a la bio-acumulación y a la bio-magnificación (Prieto *et al.*, 2009).

Los metales pesados que se encuentran más comúnmente en aguas residuales y las afectaciones que estas causan se muestran a continuación. Cabe destacar que las afectaciones que cada metal genera sobre el organismo expuestos dependerán de diversos factores como el tipo de exposición, concentración absorbida y el organismo expuesto (Acosta *et al.*, 2007). Por lo tanto, las manifestaciones pueden variar de una persona a otra.

- a) Arsénico: este es un elemento que se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente de forma natural, se encuentra comúnmente en el suelo (ASTDR, 2007), sin embargo, en algunas ocasiones es empleado en procesos industriales y descargado en las aguas residuales procedentes del proceso. Las aguas residuales en las que comúnmente se encuentra la presencia de este metal son de industrias de fundición, aleaciones y agroquímicos (Rubio *et al.*, 2015). La interacción de este elemento con la población puede

generar diversas afectaciones a la salud como manifestaciones cutáneas, cánceres viscerales y enfermedad vascular (Rubio *et al.*, 2015; ATSDR, 2007).

- b) Cadmio: este es un elemento con una amplia distribución en el ambiente, se encuentra principalmente como mineral en combinación con otros elementos (ASTDR, 2008), es comúnmente empleado en la manipulación de otros metales, por lo tanto, se encuentra principalmente en aguas residuales provenientes de la industria galvánica (Pellón *et al.*, 2005). Las afectaciones a la salud que genera este metal pueden ir desde una fiebre hasta afectaciones crónicas como enfisema pulmonar o daños al sistema óseo (Pérez-García & Azcona-Cruz, 2012).
- c) Cobre: es uno de los pocos elementos que se encuentran tanto en el agua, aire y suelo de forma natural, es esencial en algunos procesos biológicos; sus principales aplicaciones son en la producción de alambres, cañerías y algunas aleaciones (ATSDR, 2004). La principal contaminación por este metal se atribuye a las industrias metalúrgicas, y extracción de minerales (Rubio, et al., 2015). Los daños que el cobre genera en el ser humano son principalmente trastornos gastrointestinales, como náuseas, vómito, diarrea y efectos en el sistema nervioso central y neurotóxicos (Sancha & Lira, 2002).
- d) Cromo: el cromo puede ser encontrado en el ambiente en distintas formas, ya sea líquido, sólido o gas, esto dependerá del estado de oxidación que el elemento presente (ATSDR, 2012). Este elemento se encuentra presente en aguas residuales de industria galvánica o de curtiembre (Duarte, et al., 2009). La contaminación del agua por cromo causa impactos sobre la salud pública, principalmente su forma  $\text{Cr}^{(\text{VI})}$  (Artunduaga-Cuellar, 2015). Las principales afectaciones a la salud que genera el cromo hexavalente son daños al sistema digestivo, al sistema reproductivo de varones y en algunos casos cáncer (ATSDR, 2012).
- e) Níquel: este tiene una amplia distribución en él ambiente, principalmente en la corteza terrestre, pero también puede ser encontrado en la atmósfera y océanos, comúnmente se presenta en combinación con oxígeno y azufre (ASTDR, 2005a). Una de las principales fuentes de generación de aguas residuales contaminadas con níquel es la industria automotriz (Mercado *et al.*, 2013). Dentro de los daños que causa el níquel al organismo se encuentra el cáncer y defectos de nacimiento en los hijos de las personas expuestas (ATSDR, 2005a).

- f) Plomo: se encuentra en la corteza terrestre, sin embargo, también es uno de los metales pesados que se encuentran más comúnmente en aguas y que causa más afectaciones (ATSDR, 2019). Se puede encontrar en aguas de origen minero, fabricación y desecho de baterías, de aleaciones, por mencionar algunas (Rubio *et al.*, 2015) y las afectaciones que este puede generar van desde afectaciones al tejido óseo, deterioros al riñón hasta daños al sistema nervioso central (Corzo & Velásquez, 2014).
- g) Zinc: este elemento es uno de los pocos con mayor distribución en el ambiente, presentándose en todos los medios (suelos, agua y aire) e incluso en todos los alimentos, ya que este es empleado en procesos biológicos; sin embargo, a altas concentraciones puede generar afectaciones (ATSDR; 2005b). Las aguas residuales que contienen este elemento generalmente son provenientes de industrias de baterías o de producción de agroquímicos (Rubio *et al.*, 2015). Dentro de las afectaciones que causa este metal pesado al organismo se encuentra principalmente daños al sistema gastrointestinal (ATSDR, 2005b).

#### **2.4.2.4 Por Agroquímicos**

Abarca & Mora (2007) mencionan que el uso de agroquímicos en zonas aledañas a recargas de acuíferos puede causar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas adyacentes a la zona donde fueron aplicados, dependiendo de diversos factores.

La movilidad de los agroquímicos depende de las diversas características que presente, como pueden ser solubilidad, fotosensibilidad, persistencia, estabilidad molecular, entre otros factores (Afonso & Tevez, 2011).

Uno de las sustancias más empleadas en la agricultura son los plaguicidas, estos causan afectaciones a los suelos y el agua (Orta-Arrazcaeta, 2002). De igual forma sucede con los fertilizantes con alto contenido de fosfatos, estos son arrastrados por las escorrentías provocadas por la lluvia hasta llegar a lagos y pantanos donde provoca otro problema, la eutrofización de cuerpos de agua (Ramalho, 2003).

Los plaguicidas pueden clasificarse de diversas formas, cada uno tiene diversas características que lo hacen ser específico en su función, sin embargo, estas características lo hacen dañinos para el medio ambiente ya que se tratan de xenobióticos que generan alteraciones en el ecosistema (Ramírez & Lacasaña, 2001). La principal forma de clasificar los plaguicidas o la más común, es la que se presenta a continuación en la tabla 2.2. en donde se aprecia el tipo de plaguicida, el mecanismo de acción con el que opera y los grupos químicos que son empleados como ingredientes activos a la hora de ser empleados.

Tabla 2.2 Tipos de pesticidas, modo de acción y grupo químico presente.

<b>Tipo de producto</b>	<b>Modo de acción</b>	<b>Grupo químico</b>
Insecticidas	Interferencia del sistema nervioso	Organoclorados, organofosforados, carbamatos Piretroides, piretrinas, fiproles-fenilpirazoles Avermectinas, nicotinoides-nitrometilenos Nicotina
	Reguladores del crecimiento	Benzoil-fenilureas, benzamidas, benzoil-hidrazinas
	Toxinas alimentarias	<i>Bacillus thuringiensis</i>
	Sistema respiratorio	Fosfuros, bromuros, etcétera
	Tóxicos físicos	Aceites minerales, tierra de diatomeas, geles de sílice
Fungicidas	Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos	Fenilamidas, pirimidinas, derivados de hidrocarburos aromáticos, carboximidas Derivados del benzimidazol
	Mitosis y división celular	Ditiocarbamatos, benzimidazoles Fenilureas, benzamidas
Fungicidas	Respiración: inhibición de la producción de ATP en los procesos enzimáticos del metabolismo energético	Carboximidas, quinonas, cúpricos, arsenicales, derivados del estaño, disulfuros, ditiocarbamatos, estrobirulinas
	Síntesis de aminoácidos y proteínas	Anilino pirimidinas
	Transducción de señales	Quinolinas, fenilpirroles, dicarboximidas
	Síntesis de lípidos y membrana	Dicarboximidas, hidrocarburos aromáticos

		Clorofenoles, nitroanilinas, ditiocarbamatos, amidas
	Biosíntesis de esteroles en las membranas	Morfolinas, triazoles
	Alteración de la estructura celular	Dodecilguanidina
	Acción múltiple	Cúpricos, sulfúricos, ditiocarbamatos, ftalamidas, cloronitrilos, sulfamidas, guanidinas, triazinas, quinonas
	Inhibición de la acetil coenzima A carboxilasa	Ariloxi-fenoxi, ciclohexanodionas
	Inhibición de la acetato lactato sintetasa	Imidazolinonas, sulfonilureas, sulfonamidas
	Inhibición de la formación de microtúbulos	Dinitroanilinas
	Auxinas sintéticas	Clorofenóxidos, derivados del ácido benzoico Ácidos piridín carboxílicos, ácidos quinolín carboxílicos
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Triazinas, triazinonas, uracilos, ureas sustituidas, benzotiadiazonas, carbamatos, amidas
Herbicidas	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II y respiración	Benzonitrilos
	Inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa	Difeniléteres, N-fenilftalamidas, oxadiazoles Triazolinonas
	Inhibición de la síntesis de lípidos	Tiocarbamatos
	Desviación del flujo electrónico en el fotosistema I	Bipiridilos
	Inhibición de la síntesis de carotenoides	Isoxasoles, nicotinanilidas, otros
Herbicidas	Inhibición de la síntesis de proteínas, metabolismo de lípidos y división celular	Acetanilidas

Interferencia en la actividad enzimática y precipitación de proteínas	Carboxílicos aromáticos
Interferencia en el metabolismo del fósforo	Arsenicales
Inhibición de la enolpiruvil shikimato-fosfato sintetasa	Glicinas

Fuente: Bedmar, 2011.

De acuerdo con Bedmad (2011), también se puede clasificar a los plaguicidas por su estructura química, formando grupos o familias. Algunos ejemplos serían los organofosforados con 58 compuestos distintos o las glicinas, con un único compuesto. Esta clasificación presenta la ventaja de que al conocer la familia a la que pertenece un compuesto, se puede predecir los efectos de este sobre la plaga y el ambiente, ya que los compuestos de cada familia tienen un comportamiento semejante.

El Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (2019) enuncia los pesticidas usados más comúnmente y que además causan más afectaciones al ambiente y los seres vivos son descritos a continuación estos son mostrados en la tabla 2.3, donde se muestra el compuesto y los efectos nocivos que ese genera.

Tabla 2.3 Pesticidas y sus efectos.

Compuesto químico	Efectos agudos	Efectos crónicos	Efectos ambientales
Lindano	Irritante. Hiperestesia y parestesia en cara y extremidades. Hiperexcitabilidad y convulsiones, mareo, vértigo, incoordinación, temblor y confusión mental, náusea, dolor de estómago, vómito, debilidad, espasmos musculares, dificultad respiratoria.	Produce cirrosis y hepatitis crónica. Rinitis, eczemas, conjuntivitis. Están comprobados sus efectos cutáneos como, sensibilización cutánea, reacción alérgica y exantema. Interfiere en la fertilidad masculina; testículos atrofiados, disminuye la	Su alto factor de bioconcentración conduce a la biomagnificación en la cadena alimentaria. Además, contiene impurezas persistentes en el ambiente. Altamente tóxico para los organismos acuáticos como peces y crustáceos. Tóxico para abejas.

		producción de esperma y peso de los testículos.	
Paraquat	Dolores de cabeza, temblores, diarreas, insuficiencia respiratoria, alta toxicidad aguda y efectos irreversibles en el pulmón y riñones. Provoca el desarrollo de edema y fibrosis pulmonar. También afecta el sistema cardiovascular. Una cucharadita puede ser fatal. No hay antídoto conocido en caso de envenenamiento.	Potencial actividad carcinogénica y mutagénica. Efectos neurotóxicos. Provoca alteraciones en la función reproductora, reducción en el índice de producción espermática e incrementa el número de producción espermática patógena. Está demostrado que provoca efectos cutáneos como dermatitis de contacto.	Altamente tóxico y altamente persistente en el ambiente, por esta razón ha sido prohibido su uso en la agricultura en numerosos países. En el ambiente contamina las napas subterráneas. Moderadamente tóxico para aves y peces; influye en la reproducción de aves y estudios indican efectos mutagénicos en plantas.
Parathion	Inhibidor irreversible de la colinesterasa. Dificultades para hablar, bradicardia, pérdida de conciencia y de los reflejos normales hasta convulsiones y coma, parálisis respiratoria, afectando especialmente a los músculos del sistema respiratorio.	Posible cancerígeno, teratogénico y mutagénico; causa degeneración del nervio ciático y efectos embriotóxicos comprobados en animales de laboratorio. Efectos negativos sobre la reproducción, afectando las células espermáticas.	Peligroso para animales domésticos y salvajes. Tóxico para abejas, peces y aves. Efectos mutagénicos en plantas.
Pentaclorofenol (PCP)	Irrita los ojos, las membranas mucosas, quemaduras en la piel. Vómitos, diarrea, aumenta el ritmo cardíaco, calambres, convulsiones. Puede ser fatal si se traga o se absorbe a través de la piel. Causa la muerte por insuficiencia respiratoria.	Comprobadamente depresor del sistema inmunológico y neurotóxico. Causa daños al hígado, riñones y sistema nervioso, desórdenes sanguíneos. Cancerígeno al contactarse con dioxinas cloradas y furanos en animales de experimentación.	Peligroso para el ambiente. Presenta alta persistencia en napas subterráneas y bioacumulación. Por su alta volatilidad y movilidad se disemina en el ambiente contaminando extensas áreas. Animales acuáticos son extremadamente sensibles a los efectos del PCP. Altamente tóxico

			para mamíferos y pájaros.
Atrazina	Irritación severa de ojos.	Altamente tóxico. Estudios de laboratorio han demostrado que provoca alteraciones en las funciones del corazón, hígado y riñón. Interfiere con el sistema endocrino provocando problemas en la reproducción.	La Atrazina y sus metabolitos son altamente contaminantes del agua.
Benomyl	Afecta el sistema nervioso central. Tóxico para el hígado. Produce alergias e irritaciones a la piel. Sensibilización cutánea, exantema, reacción fotoalérgica. También provoca problemas en los ojos.	Altamente tóxico. Incluido en el informe de la Academia de Ciencias de EE.UU. como uno de los 12 químicos responsables del 98% del riesgo de cáncer en ese país.	Reduce la vida silvestre.
Bromuro de metilo	Neurotoxicidad y en casos de severa intoxicación, congestión cerebral con múltiples hemorragias asociadas a alteraciones degenerativas como necrosis. Irritación ocular, visión borrosa y hemorragias retinales. Dolores abdominales, hemorragias estomacales, afecta gravemente riñones e hígado.	Puede provocar malformaciones congénitas, problemas de la reproducción, cáncer, problemas oculares, daño del sistema inmunológico y alteración del sistema hormonal. Provoca degeneración de testículos.	Provoca contaminación global y local.
Diazinon	Inhibe la colinesterasa, sustancia que necesita el organismo para que funcionen el cerebro y el sistema nervioso. Puede provocar la muerte por fallo respiratorio.	Tóxico para los riñones, interfiere con la fertilidad femenina; fetotóxico, teratogénico (produce malformaciones durante el embarazo), mutagénico.	Reduce la vida silvestre.

Mancozeb	Moderadamente irritante de la piel y las membranas mucosas. Puede provocar alergias. Extremadamente tóxico. Plaguicida con efecto perturbador en los sistemas reproductivo y endocrino. Asociado a problemas de fertilidad masculina; Aumenta la cantidad de esperma anormal.	Es carcinogénica, mutagénica y teratogénica. Además, tiene efecto antitiroideo.	Reduce la vida silvestre.
----------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	---------------------------

Fuente: Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales, 2019.

#### 2.4.2.5 Por Agentes Infecciosos

La contaminación del agua también puede darse por microorganismos presentes en este recurso, como virus y bacterias. Córdoba, Del Cocco & Basualdo (2010) mencionan que las enfermedades transmitidas por el agua son causadas por este tipo de patógenos.

Los microorganismos patógenos se pueden encontrar en el agua natural, es decir, no es necesario que el agua haya estado en contacto con los humanos o alguna actividad antropogénica (Alba *et al.*, 2013). Estos microorganismos pueden aparecer en aguas que tuvieron una relación con heces fecales de mamíferos de sangre caliente (Ríos-Tobón *et al.*, 2017).

Este tipo de contaminación se da principalmente en zonas rurales, donde hay gran cantidad de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorio de microorganismos patógenos (Pulido *et al.*, 2005).

Uno de los microorganismos más comunes que generan la contaminación de aguas por agentes patógenos es la especie bacteriana *Escherichia coli*. Existen diversas cepas de esta especie, la mayoría no causan afectaciones a la salud, sin embargo, algunas pueden causar afectaciones severas al organismo (OMS, 2018).

Dentro de las afectaciones que genera la *E. coli* se encuentran enfermedades infecciosas en tejidos y órganos, sepsis, shock inducido por endotoxinas, infecciones del tracto urinario, entre otras (Alba *et al.*, 2013). Las repercusiones a la salud dependerán de las características y la cepa que genera la infección, y estas afectaciones pueden variar de una persona a otra.

## **2.5 Cromo**

### **2.5.1 Generalidades**

Es un elemento químico de símbolo Cr con número atómico 24 y una masa atómica de 57.996 g/mol. El cromo fue descubierto en el año 1797, es un elemento que se encuentra presente en el medio ambiente en el suelo, rocas, animales y algunas plantas; ocupa el lugar 21 dentro de los elementos de mayor abundancia en la corteza terrestre (Coreño-Alonso *et al.*, 2010; LENNTECH, 2019). Se puede presentar en los tres estados de agregación y en sus tres estados de oxidación más estables: Cromo (0), Cromo (III) y Cromo (VI).

El ambiente se ve afectado por la contaminación por cromo debido a las actividades humanas antes mencionadas. El aire y el agua son los recursos a los que se afecta principalmente (Molina *et al.*, 2010).

### **2.5.2 Aplicaciones**

El cromo es empleado en diversas áreas de la industria. El cromo (0) se usa en la fabricación de acero. El cromo (VI) y el cromo (III) se usan en cromado, colorantes y pigmentos, curtido de cuero y preservación de madera, entre otras (ATSDR, 2012).

#### **2.5.2.1 Metalurgia**

La principal forma en la que este elemento es empleado en esta área es en aleaciones con otros metales como el hierro, cobalto y níquel, ya que estas combinaciones aumentan la dureza, tenacidad y resistencia a la corrosión del material (MINERIAMIT, 2018).

El cromo se encuentra presente en un 11% en el acero inoxidable (Padilla, 1999), mejorando las propiedades de este, como la resistencia a la corrosión, efecto brillante, etc., lo que lo lleva a tener una mayor cantidad de aplicaciones comparado con otras aleaciones.

Las principales ventajas de las aleaciones con cromo son, mayor ductilidad y capacidad de trabajo en frío, facilidad de manejo en frío, facilidad para soldado y mayor maleabilidad (Osorio, 2018).

### 2.5.2.2 Industria textil.

Los óxidos de cromo y cromatos son empleados dentro de la industria textil como colorantes. Principalmente los cromatos y dicromatos, esto debido a la variedad de colores que estos presentan y a que pueden ser empleados como fijadores de otros colorantes en telas (Tenorio-Rivas, 2006).

Este elemento es de los más comunes encontrados en aguas residuales de la industria textil y de colorantes. En la tabla 2.4 se presentan los elementos encontrados en colorantes que se emplean en la industria textil.

Tabla 2.4. Metales encontrados en colorantes.

Clase de colorante	Metales
Directo	Cobre
Reactivo	Cobre y Níquel
Ácidos	Cobre, Cromo y Cobalto
Premetalizados	Cobre, Cromo y Cobalto
Mordante	Cromo

Fuente: Bae *et al.*, 2006.

El problema con los pigmentos es que estos son liberados al ambiente sin ningún tipo de tratamiento para disminuir su persistencia y toxicidad. Se estima que entre el 10 y 15% de los tintes son desechados sin haber sido sometidos a un tratamiento previo a su liberación (Bae *et al.*, 2006).

### 2.5.2.3 Curtiembre.

El curtido es un proceso al que son sometidas las pieles (bovinos, ovinos y porcinos) para mejorar las propiedades físicas y químicas de éstas, aumentando así su estabilidad y durabilidad (Chávez-Porras, 2010; Córdova *et al.*, 2013).

El cromo es comúnmente empleado en este proceso, ya que el curtido generado es de mayor calidad que los curtidos con otros compuestos. El curtido es uniforme y rápido (Chávez-Porras, 2010).

El cromo es empleado en forma de sales que generan una reacción química que transforma el colágeno de la piel en cuero. A nivel mundial, el 80% de los cueros curtidos tiene alguna relación con el cromo, a causa de su versatilidad y que además permite recurtir las pieles (Balla-Paguay, 2010).

#### **2.5.2.4 Otras aplicaciones**

El cromo también es empleado en análisis de laboratorio como reactivo químico en análisis volumétricos, esto en forma de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). También es empleado en los laboratorios durante la limpieza de cristalería o como catalizador de reacciones químicas (Nieto & Orellana, 2011; EcuRed, 2018).

Además de ser empleado en laboratorios, el cromo también tiene aplicaciones en recubrimientos de materiales como la madera, brindando protección y aumentando su durabilidad y vida útil. Esto se realiza empleando el óxido de cromo, la cual es una sustancia química en fase líquida (Nieto & Orellana, 2011).

#### **2.5.3 Toxicidad**

El cromo es un elemento esencial para el ser humano (en su forma de  $Cr^{(III)}$ ), aunque las funciones que lleva a cabo dentro del organismo aún no han sido totalmente explicadas por la ciencia. En los procesos biológicos en los que participa el cromo trivalente se encuentra el metabolismo de lípidos y carbohidratos, la potencialización de la acción de la insulina, entre otros (Nieto & Orellana, 2011).

Por otro lado, el cromo hexavalente ( $Cr^{(VI)}$ ) es altamente tóxico para humanos y animales, debido a que es altamente oxidante. Lo que le atribuye propiedades carcinógenas y mutagénicas (Tenorio-Rivas, 2006).

### **2.5.3.1 Toxicocinética**

Las fuentes de exposición más común al cromo son por exposición laboral y por ingesta involuntaria. El cromo puede ingresar al organismo por las vía oral, cutánea o respiratoria, una vez que ingreso al cuerpo humano, este se distribuye a nivel de médula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, riñón, e hígado (ATSDR, 2006; IRIS, 1998; Lauwerys, 2007).

El cromo trivalente no se absorbe tan fácilmente como el cromo hexavalente. Sin embargo, el cromo (VI) logra atravesar la membrana celular, tomando el sistema transportador de sulfatos, mientras que el cromo (III), no logra atravesar la membrana celular y se une directamente a la transferrina (Cuberos *et al.*, 2009).

### **2.5.3.2 Toxicodinámica**

La toxicodinámica más importante del cromo se debe al cromo (VI), debido a que a éste se le atribuyen propiedades mutagénicas y carcinógenas (Carretero, 2005).

La acción de este contaminante sobre el organismo se produce por acción cáustica directa, sensibilización cutánea, citotoxicidad e inflamación de neumocitos, interacción con biomoléculas, el Cr<sup>(VI)</sup> induce alteración de cromátidas hermanas, aberraciones cromosómicas y reacciones cruzadas en la cadena de ADN (Téllez *et al.*, 2004).

## **2.6 Coagulación**

### **2.6.1 Generalidades**

La coagulación es propiciada a partir de una serie de reacciones físicas y químicas, producidas por un coagulante que es añadido al agua para que este genere una desestabilización en las partículas coloidales, disminuyendo la separación entre ellas y así, estas formen aglomerados capaces de precipitar por la acción de la gravedad (Nieto & Orellana, 2011). Este proceso inicia apenas el coagulante entra en contacto con la solución, y toma entre segundos hasta algunos pocos minutos para formar los flóculos (Villabona *et al.*, 2013).

Esta etapa se encuentra dentro del tratamiento primario en las plantas de tratamiento de aguas residuales, y la principal función es remover las partículas de menor tamaño y los coloides,

disminuyendo la carga de contaminantes que pasara a las siguientes etapas del tratamiento (Borrás, 2010).

## **2.6.2 Tipos de coagulantes**

### **2.6.2.1 Sales metálicas**

Su principal aplicación da en aguas residuales industriales y domésticas. Los comúnmente empleados son la alúmina, oxido de calcio, sulfato ferroso y cloruro férrico. Generalmente este tipo de coagulantes son producidos a partir de metales. El manejo de este tipo de sustancias puede generar algún otro tipo de contaminación, e incluso afectaciones a la salud de quien este en contacto con el agua tratada (Nieto & Orellana, 2011).

### **2.6.2.2 Sales sintéticas**

Sus usos son muy limitados, la mayoría están hechos con hierro y aluminio y son de alto coste económico. En esta clasificación se encuentra el cloruro de poli-aluminio, el cual es el más común de este tipo empleado en el tratamiento de aguas (Villabona *et al.*, 2013).

### **2.6.2.3 Polímeros sintéticos**

Son compuestos de elevado peso molecular, trabajan con diferentes cargas, pudiendo ser aniónicos, catiónico o no iónicos. Tienen la propiedad de aumentar la viscosidad de la solución sobre la que es aplicada, teniendo como consecuencia la necesidad de empleo de agitación mecánica para aumentar su desempeño (Carretero, 2005).

### **2.6.2.4 Polímeros naturales**

Estos son producidos a partir de animales o vegetales, generalmente son macromoléculas de cadena larga. Pueden ser aniónicos, neutros o catiónicos (Díaz, 2014). Es en esta clasificación donde entra el quitosano y otros compuestos como la poliamina (LiquidTechnologies, 2018).

## Capítulo III. Materiales y métodos

### 3.1 Área Experimental

El desarrollo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Química (LQ) que se encuentra dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Misantla (ITSM) ubicado en Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla, Veracruz. México (Figura 3.1).

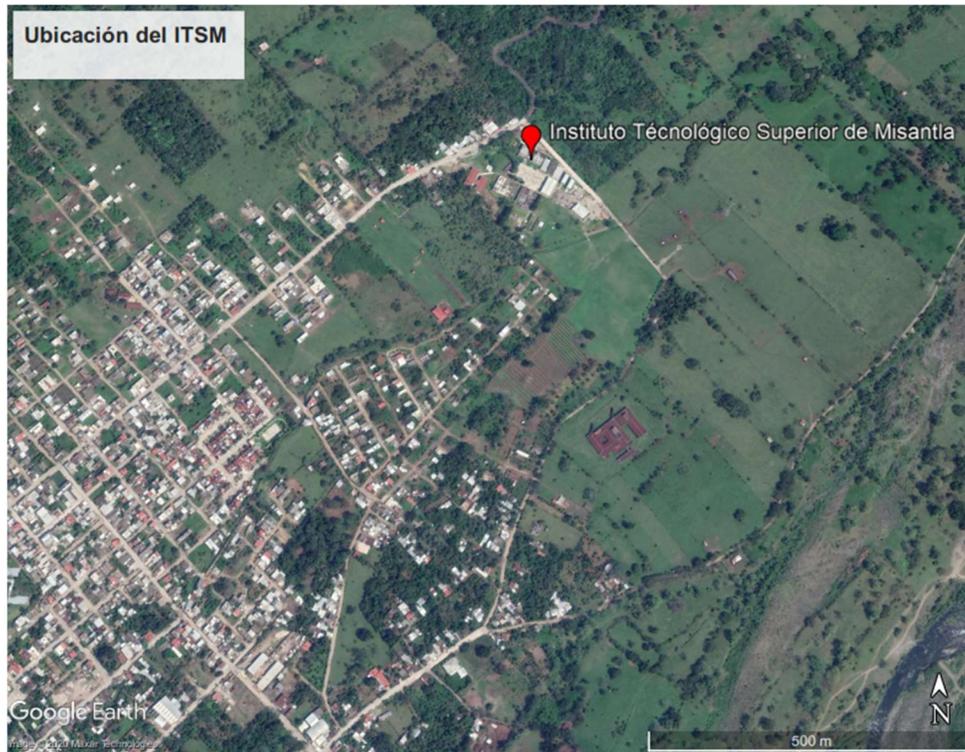


Figura 3.1. Ubicación del ITSM.

### 3.2 Obtención de la Materia Prima.

Los exoesqueletos empleados fueron obtenidos de los restaurantes “El Vado” y “El Paisa” ubicados en la localidad de El Vado, perteneciente al municipio de Vega de Alatorre, Ver. Los exoesqueletos recolectados se lavaron tenazmente con abundante agua, posteriormente fueron separados de forma manual el abdomen y el tórax del resto del cuerpo.

En la figura 3.2 se muestra la separación de los exoesqueletos, en el recipiente rojo de la izquierda se encuentran los elementos empleados en la generación del quitosano, estos son el abdomen y el tórax, y en el recipiente blanco de la derecha se encuentra el resto del exoesqueleto (cabeza, cola

y patas). A continuación, fueron almacenados en bolsas de polietileno de alta densidad y congelados a  $-5^{\circ}\text{C}$  hasta antes de su procesamiento.



*Figura 3.2.* Selección del exoesqueleto.

### **3.3 Procesamiento de la Materia Prima**

#### **3.3.1 Preprocesamiento**

El preprocesamiento comprendió la descongelación, el secado y la molienda de los exoesqueletos.

Para la descongelación, los exoesqueletos de camarón fueron colocados en agua a una temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  durante 30 minutos, una vez transcurrido ese tiempo fueron filtrados con una coladera de mano. Posteriormente se dejaron secar a temperatura ambiente durante 5 h para eliminar el exceso de agua, consecutivamente se sometieron a una molienda con una licuadora de cocina, debido a que no se contaba con un molino para realizar dicha acción.

Una vez sometido al proceso de molienda, los exoesqueletos fueron tamizados empleando dos tamices con diferente tamaño de poro, uno de malla 100 (0.150 mm) y otro de malla 50 (0.300 mm). Los dos lotes obtenidos con diferente tamaño de partícula fueron pesados en una balanza analítica y almacenados en bolsas de polietileno resellables con paquetes pequeños de gel de sílice para evitar malos olores y exceso de humedad.

#### **3.3.2 Desproteínización**

Para la extracción de la proteína presente en los exoesqueletos tratados en el preprocesamiento se agregó hidróxido de sodio (NaOH) al 1%.

Inicialmente se preparó la solución diluyendo 5 g de hidróxido de sodio (lentejas) en 100 mL de agua destilada usando un matraz volumétrico de 500 mL, posteriormente se aforó a los 500 mL.

En la figura 3.3 se aprecia el proceso de desproteinización, el cual consistió en tratar ambos lotes, exponiéndolos a la solución NaOH al 1 % a una temperatura de 35 °C durante un periodo de 60 min con una agitación constante de 750 rpm. La solución de hidróxido de sodio fue añadida en una relación de 10 mL de solución NaOH por cada 1 g de exoesqueleto procesado.

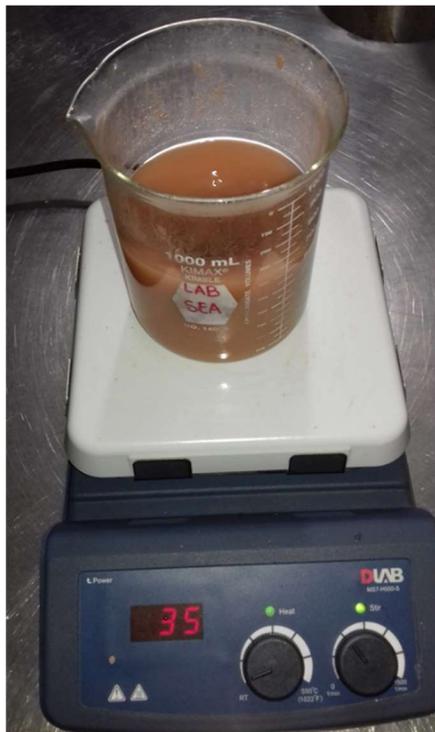


Figura 3.3. Desproteinización.

Al finalizar el tiempo de reacción se tomaron lecturas de pH y se filtró al vacío hasta obtener un precipitado, este precipitado se sometió a un proceso de neutralización de pH, el cual consistió en añadir agua destilada hasta obtener un pH básico débil (7.5 - 8.3), se filtró y el precipitado resultante fue sometido a la desmineralización.

## 3.4 Aislamiento del Quitosano

### 3.4.1 Método Indirecto

Se denomina método indirecto debido a que primero se obtiene la quitina y consecutivamente se obtiene el quitosano. Para obtener la quitina presente en el exoesqueleto de camarón, se debe realizar una desmineralización de dicho exoesqueleto.

#### 3.4.1.1 Desmineralización

Para realizar la desmineralización de los lotes, el filtrado obtenido en la desproteización se le agregó ácido clorhídrico (HCl) a una concentración de 0.6 N en una relación de en relación de 11 mL de solución HCl por cada 1 g de exoesqueleto desproteizado, este se dejó reaccionar a temperatura ambiente durante 3 h. En la figura 3.4 se muestra la quitina obtenida durante la desmineralización del lote 1 repetición 3 (L1R3). En la figura 3.4 se muestra que se llevó a cabo la desmineralización ya que se logra ver un sedimento de aspecto cristalino en color blanco al fondo del vaso de precipitado, este material es la quitina que se logró aislar de los exoesqueletos de camarón. Posteriormente se filtró al vacío hasta obtener el precipitado, este se le realizó una disminución de pH empleando la misma técnica que en el proceso de desproteización. Luego se filtró y se descartó el líquido obtenido, resultando un filtrado de la quitina que se encontraba presente en los exoesqueletos.



*Figura 3.4.* Desmineralización de L1R3.

El filtrado obtenido se llevó a una estufa de secado a una temperatura de 50 °C durante 18 h para eliminar el exceso de humedad. Posteriormente fue almacenado en bolsas de polietileno resellables.

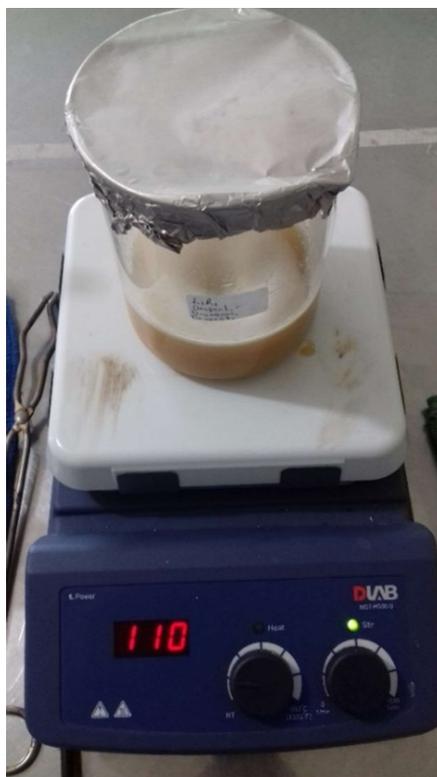
#### **3.4.1.2 Aislamiento de la Quitina**

Una vez neutralizada la solución se filtró y al sedimento obtenido se agregó ácido clorhídrico (HCl) a una concentración de 0.6 N en una relación 1:11 sólido-líquido, se dejó reaccionar durante 3 horas, posteriormente se realizó la eliminación del HCl siguiendo el mismo procedimiento de eliminación de NaOH, empleando un papel filtro y se secando durante 18 horas a 50 °C, obteniendo así la quitina.

#### **3.4.1.3 Generación del Quitosano.**

Para la generación del biopolímero a partir de la quitina obtenida de los exoesqueletos se llevó a cabo una desacetilación de la quitina. Esta reacción como se describe a continuación.

Se agregó una solución al 50% de hidróxido de potasio (KOH), con ayuda de un termoagitador la quitina se sometió a una desacetilación termoalcalina, a una temperatura de 110 °C y una agitación de 500 rpm (Figura 3.5). Se mantuvo en reflujo durante 70 min, generando así el quitosano. Este fue filtrado al vacío, lavado y posteriormente secado a 50 °C en una estufa de secado durante 18 horas.



*Figura 3.5. Desacetilación.*

El quitosano obtenido fue guardado en bolsas de polietileno resellables y a cada bolsa se le agregó una bolsita de gel de sílice para evitar que el biopolímero retenga humedad no deseada hasta su aplicación.

### **3.6 Caracterización del Quitosano**

La caracterización del biopolímero obtenido se realizó de acuerdo a su porcentaje de humedad, porcentaje de ceniza, porcentaje de proteína, el grado de *N*-desacetilación y al porcentaje de materia insoluble.

#### **3.6.1 Porcentaje de Humedad.**

La estimación de la humedad presente en el quitosano se evaluó introduciendo 2 g de quitosano en un horno de secado a 105 °C hasta llevar a peso constante. El porcentaje de humedad será calculado con la siguiente ecuación:

Ecuación 1.....% H =  $\frac{(mi-mf)}{mi} \cdot 100$

Dónde:

mi = Masa inicial de la muestra.

mf = Masa final de la muestra.

### 3.6.2 Grado de Desacetilación

Para el estudio de esta cualidad fue necesario realizar una valoración, esta consistió en disolver 2 g de quitosano en un exceso de HCl. La solución Quitosano-HCl se valora con una solución al 50 % de NaOH (Figura 3.6). De esta manera se obtendrá una curva de pH vs mL de NaOH agregados, la cual presenta dos puntos de inflexión; la diferencia entre ellos indica la cantidad de ácido requerido para protonar los grupos amino del quitosano.



Figura 3.6. Titulación de L1R3.

La concentración de estos grupos se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2.....% NH<sub>2</sub> =  $\frac{16.1(y x)}{w} f$

Dónde:

y = Punto de inflexión mayor (volumen)

x = Punto de inflexión menor (volumen)

f = Molaridad de NaOH

w = Masa de la muestra (gramos)

16.1 = Factor asociado a la proteína presente

### 3.6.3 Porcentaje de Materia Insoluble

Este se determinó disolviendo quitosano al 0.5 % ( $m/V$ ) en una solución de ácido acético 0.1 M con agitación constante de 200 rpm, durante un tiempo de 24 h, posteriormente la muestra es filtrada en un papel filtro y finalmente secada hasta obtener un peso constante. El material obtenido es la materia insoluble que se encuentra en el quitosano obtenido, el porcentaje de materia insoluble fue obtenido empleando la siguiente ecuación.

$$\text{Ecuación 3} \dots\dots\dots \% M = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \cdot 100$$

Dónde:

$m_i$  = Masa inicial de la muestra.

$m_f$  = Masa final de la muestra.

### 3.6.4 Rendimiento Global

El rendimiento global (RG) se determinó tomando en cuenta con cuánto exoesqueleto de camarón (por cada repetición) se inició y a partir de esto, cuántos gramos de quitosano se obtuvieron, y estos datos fueron empleados en la ecuación 3.

$$\text{Ecuación 4} \dots\dots\dots RG = \frac{RR}{RT} \cdot 100$$

Donde:

RR = Masa de la muestra con la que se comenzó el proceso.

RT = Masa del producto final (quitosano).

La figura 3.7 muestra el quitosano obtenido en el lote 1 repetición 3, previo a su secado para conocer la masa de producto final.



Figura 3.7 Quitosano húmedo obtenido L1R3.

### 3.6.5 Viscosidad.

Para la determinación de la viscosidad se empleó el método del viscosímetro de Ostwald (figura 3.8). Para ello, fue necesario disolver 1 g de quitosano en 10 mL de ácido acético 0.1 M. Posteriormente se siguió la metodología para la toma de desplazamiento en el viscosímetro y se determinó la viscosidad de cada muestra mediante la ecuación 5.

Ecuación 5.....
$$\mu_1 = \frac{\rho_1 \cdot t_1 \cdot \mu_2}{\rho_2 \cdot t_2}$$

Dónde:

$\mu_1$  = Viscosidad de la solución de quitosano en ácido acético 0.1 M..

$\rho_1$  = Densidad de la solución de quitosano.

$t_1$  = Tiempo de desplazamiento de la solución de quitosano.

$\mu_2$  = Viscosidad del agua (25 °C).

$\rho_2$  = Densidad del agua.

$t_2$  = Tiempo de desplazamiento del agua.



*Figura 3.8* Viscosímetro de Ostwald.

## Capítulo IV. Resultados y discusión

### 4.1. Generación de quitosano

#### 4.1.1 Desproteínización

Durante el proceso de desproteínización se realizó la neutralización del pH, los datos obtenidos se registraron las lecturas que se presentan en la tabla 4.1. Se puede observar que los dos lotes presentaron un comportamiento promedio de pH inicial de 13.19 y un comportamiento promedio de pH final de 7.82. Cabe mencionar que los coeficientes de variación obtenidos son similares, por lo que se puede decir que el procedimiento de desproteínización de los dos lotes se llevaron de manera adecuada.

Tabla 4.1. Neutralización de pH y gasto de agua destilada en la desproteínización.

Lote	Repetición									Desviación Estándar ( $\sigma$ )			Coeficiente de Variación (CV)		
	1			2			3								
	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G
1	13.09	7.85	1100	13.21	7.96	950	13.41	7.81	1150	0.1617	0.0777	104	1.221	0.987	9.76
2	13.39	8.12	1650	12.96	8.00	1150	13.10	7.22	1400	0.2193	0.489	250	1.668	6.28	17.9

pH<sub>0</sub>= pH inicial.

pH<sub>f</sub>= pH final.

G = Gasto de agua destilada (mL).

Durante el ajuste de pH este debe de ser lo más neutro posible y debe realizarse únicamente con agua destilada. La importancia de la neutralización del pH radica en que si este proceso no se lleva a cabo de forma correcta esta puede inhibir el desarrollo de reacciones futuras y no se realizaría la operación haciendo que el proceso fracase o no se eliminen los compuestos deseados y disminuya la pureza y la calidad del quitosano (Barra *et al.*, 2012; Goycoolea *et al.*, 2009).

#### 4.1.2 Desmineralización

En los lotes puestos a reaccionar con el ácido clorhídrico en el proceso de desmineralización se encontraron los valores de pH presentados en la Tabla 4.2, al igual que el volumen de agua destilada empleado en la neutralización. Al realizar la desmineralización se encontró un promedio de pH inicial de 3.2 y un comportamiento promedio de pH final de 7.55. De igual forma que en el proceso anterior los coeficientes de variación obtenidos son similares, por lo que se puede decir que el procedimiento de desproteínización de los dos lotes se llevaron de manera adecuada.

Tabla 4.2. Neutralización de pH y gasto de agua destilada en la desmineralización

Lote	Repetición									Desviación Estándar ( $\sigma$ )			Coeficiente de Variación (CV)		
	1			2			3			pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G
pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G	pH <sub>0</sub>	pH <sub>f</sub>	G							
1	3.05	7.60	1200	2.96	7.58	950	3.38	7.45	1250	0.221	0.0815	161	7.06	1.08	14.2
2	3.47	7.51	1250	3.12	7.52	1000	3.26	7.64	1400	0.176	0.0723	202	5.37	0.957	16.6

$pH_0$  = pH inicial.

$pH_f$  = pH final.

G = Gasto de agua destilada (mL).

Ambos lotes al ser filtrados presentaron un cambio en la coloración: el lote 1 pasó de ser naranja claro a rosa pálido, mientras que el lote 2 pasó de ser naranja claro a ser amarillo verdoso. Algunos autores mencionan (López-Calvache, 2014; Rodríguez-Morales, 1999) que puede ocurrir un cambio en la coloración debido a que no se realizó una despigmentación de los exoesqueletos previa al tratamiento de obtención del quitosano. Tal es el caso de este trabajo, como los residuos no presentaban una coloración excedente, se consideró que no era necesaria la aplicación de una despigmentación.

Al igual que en la desproteínización la desmineralización se realizó de forma correcta, tomando como indicador el cambio en el pH de ácido a neutro.

## 4.2 Caracterización del quitosano

El quitosano fue caracterizado de acuerdo a cinco aspectos básicos, los cuales son los más tomados en cuenta a la hora de evaluar la calidad de este biopolímero. El parámetro de mayor importancia es el grado de desacetilación, ya que este determina la pureza del quitosano.

### 4.2.1 Grado de desacetilación

Durante la valoración potenciométrica se presentaron comportamientos similares de un lote a otro, esto se puede apreciar de mejor forma en la figura 4.1 en donde se muestran los mililitros empleados contra el pH obtenido. El único lote que no presentó este comportamiento fue el L1R2 el cual mostró un comportamiento lineal, por lo tanto, no exhibió los dos picos comunes en el cambio de pH. Esto se debe a que en este lote no se generó quitosano, sino que es quitano, esto se

concluyó de acuerdo al grado de desacetilación. Se considera quitosano cuando el grado de desacetilación se encuentra entre el 20 y el 80%, si este es inferior es considerado quitina y si es superior al 80% es quitano (Ramírez Barragán, Delgado-Fornué & Andrade-Ortega, 2016; Rodríguez-Pedrozo *et al.* 2009).

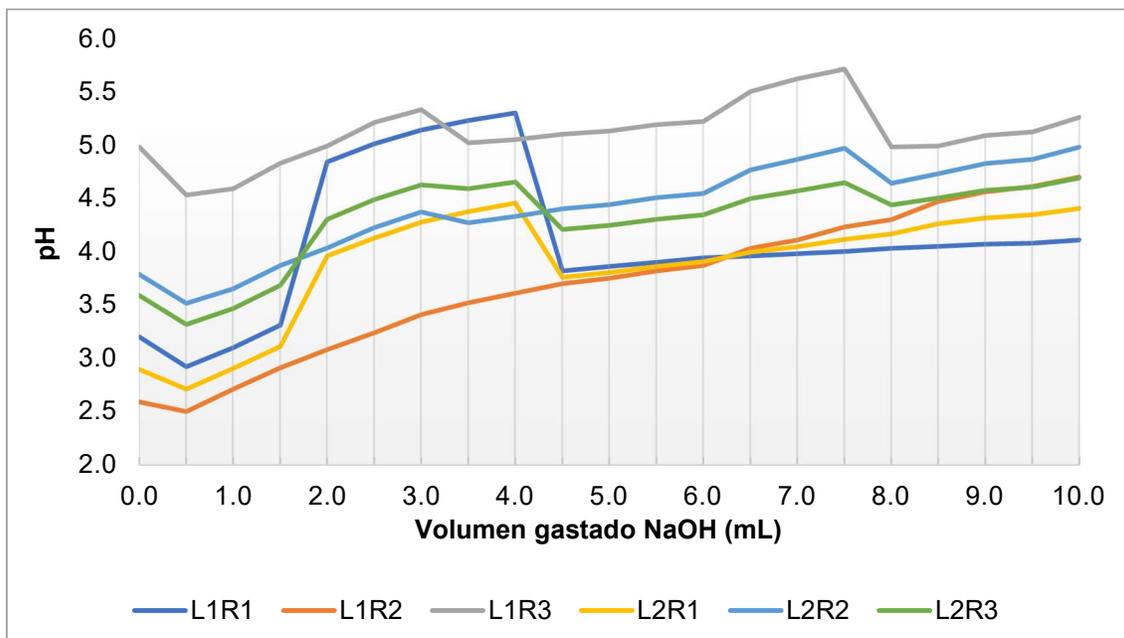


Figura 4.1. Valoración potenciométrica de todos los lotes.

De acuerdo con la ecuación mencionada en el capítulo anterior (Ecuación 2), los grados de desacetilación obtenidos fueron favorables, estos se presentan a continuación en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3.** Grado de desacetilación.

Lote	Desacetilación (%)
L1R1	25.76
L1R2	82.11
L1R3	72.45
L2R1	25.76
L2R2	72.45
L2R3	38.64

Comparando los resultados de los lotes L1R3 y L2R2 con quitosano comercial de las marcas Merck o Acofarma estos pueden considerarse de alta pureza ya que el grado de desacetilación es

superior al 70%. El resto de lotes no cumplen con esta característica, por lo tanto, se consideran quitosano de menor calidad.

Aquí destaca que el lote L1R2 presento un grado de desacetilación superior al 80%, lo que indica que este lote es quitano, no quitosano. Esto se debe a que probablemente la desacetilación se realizó en un exceso de hidróxido de potasio, a causa de un error en la preparación de la solución. Ya que la concentración ideal para la desacetilación es de KOH o NaOH >50% (Juárez Castelán, 2012; Espadín-Dávila, 2012; Cocolletzy, 2009).

Comparando los resultados entre ambos lotes quien presento mejor grado de desacetilación es el lote 1, con un promedio de 60.1%, mayor al 45.61% del lote 2. Esto se pretende que es debido a que el lote 1 presenta un menor diámetro de partícula lo cual genera un mayor área de contacto mejorando las reacciones que se llevan a cabo para obtener el quitosano (Marmol *et al.*, 2004).

#### 4.2.2 Porcentaje de humedad

Los lotes presentaron porcentajes de humedad similares a los de otros trabajos (Juárez Castelán, 2012; Espadín-Dávila, 2012; Corona-Suárez, 2013), con excepción del lote 1 repetición 2 (L1R2) y el lote 2 repetición 1 (L2R1), los cuales presentaron porcentajes mayores al 30%, los porcentajes de humedad para cada lote se muestran a continuación en la figura 4.2.

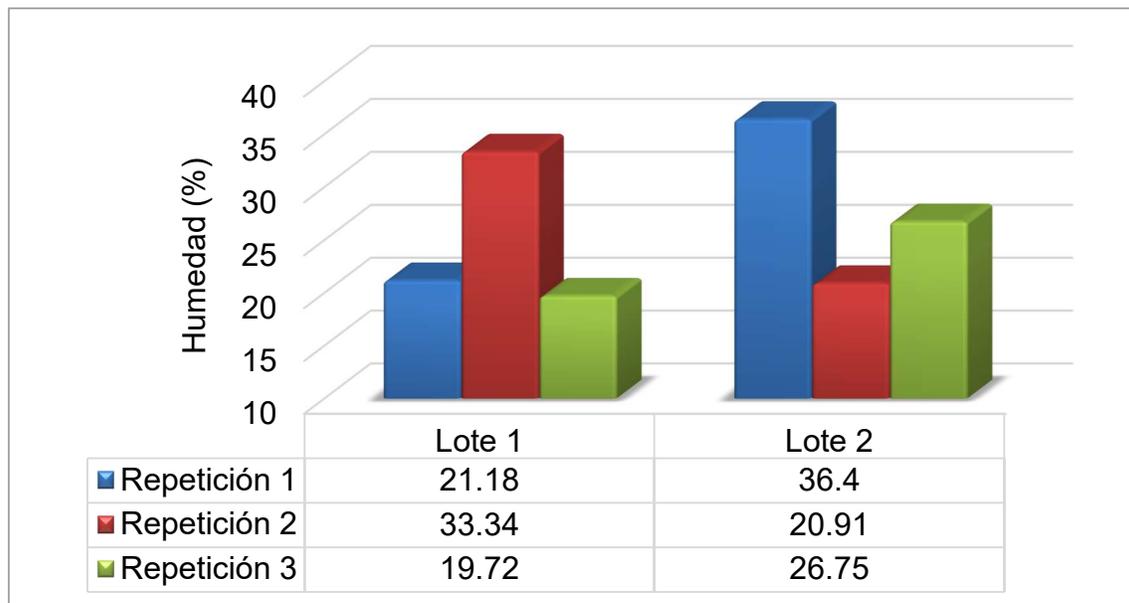


Figura 4.2. Porcentajes de humedad.

Lo porcentajes de humedad resultaron mayores a los reportados por Mandujano & Caldas (2015), en donde se reportó un 4.38% de humedad. Se pretende que la diferencia se debe a que en ese trabajo se empleó un diámetro de partícula del doble de tamaño del que se empleó durante este trabajo, lo que indicaría que cuanto mayor es el diámetro de partícula menor será la cantidad de humedad que retiene, esto debido a la porosidad que se encuentra entre una partícula y otra (Hidalgo *et al.*, 2018).

En la aplicación de quitosano para descontaminar agua el porcentaje de humedad no genera influencia en los resultados, ya que al tratarse de interaccionar con una solución acuosa es obligatorio la ganancia de agua (Neto & Orellana, 2011).

#### 4.2.3 Rendimiento global.

El quitosano obtenido presentó excelente rendimiento global, incluso un lote (L1R2) rebasó el 95% de rendimiento, los rendimientos globales de todos los lotes se muestran a continuación en la figura 4.3.

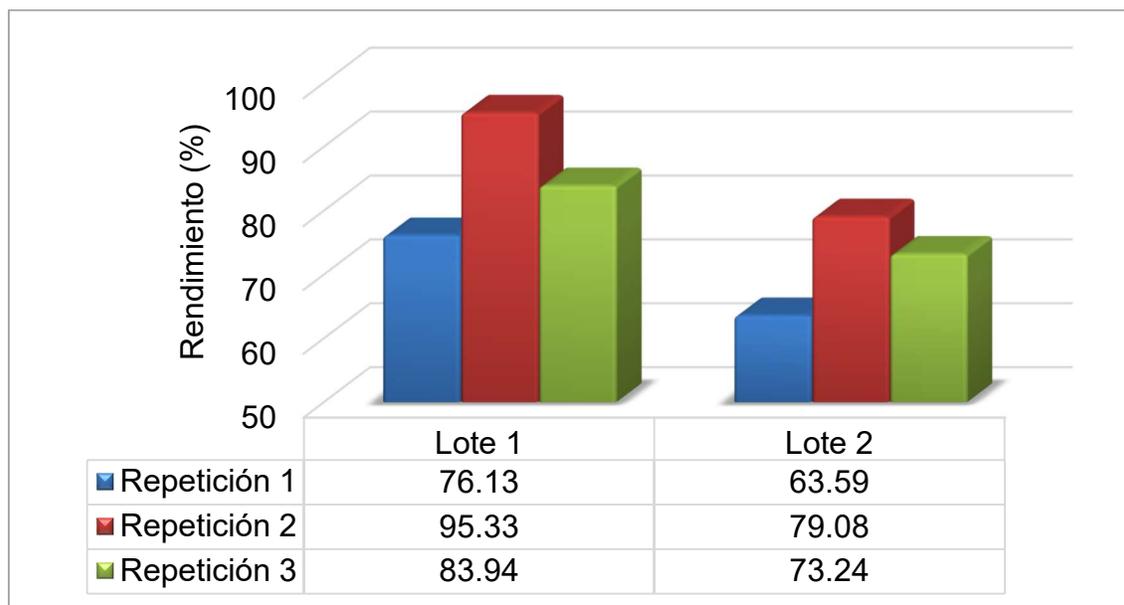


Figura 4.3. Rendimiento global de quitosano.

Comparando los resultados obtenidos con otros estudios (Paz *et al.*, 2012; Pájaro & Díaz, 2012; Martínez *et al.*, 2019) los rendimientos globales son muy similares ya que estos oscilan entre el 60 y 80%, rango en el cual se encuentran 4 de las muestras analizadas. Esto puede deberse a que los trabajos con los cuales se compara éste; emplearon también como materia prima el exoesqueleto

de camarón y obtuvieron el quitosano mediante un método indirecto, con procesos similares a los realizados en el presente trabajo.

#### 4.2.4. Porcentaje de materia insoluble.

El quitosano generado presentó buenos porcentajes de materia insoluble, lo cual indica altos grados de pureza. Los porcentajes de materia insoluble se muestran a continuación en la figura 4.4. Tomando en cuenta este aspecto, el lote con mejores resultados es L1R1, ya que el bajo porcentaje de materia insoluble indica que este quitosano puede ser fácilmente disuelto en soluciones de ácidos orgánicos y ser empleado como floculante de cromo en aguas.

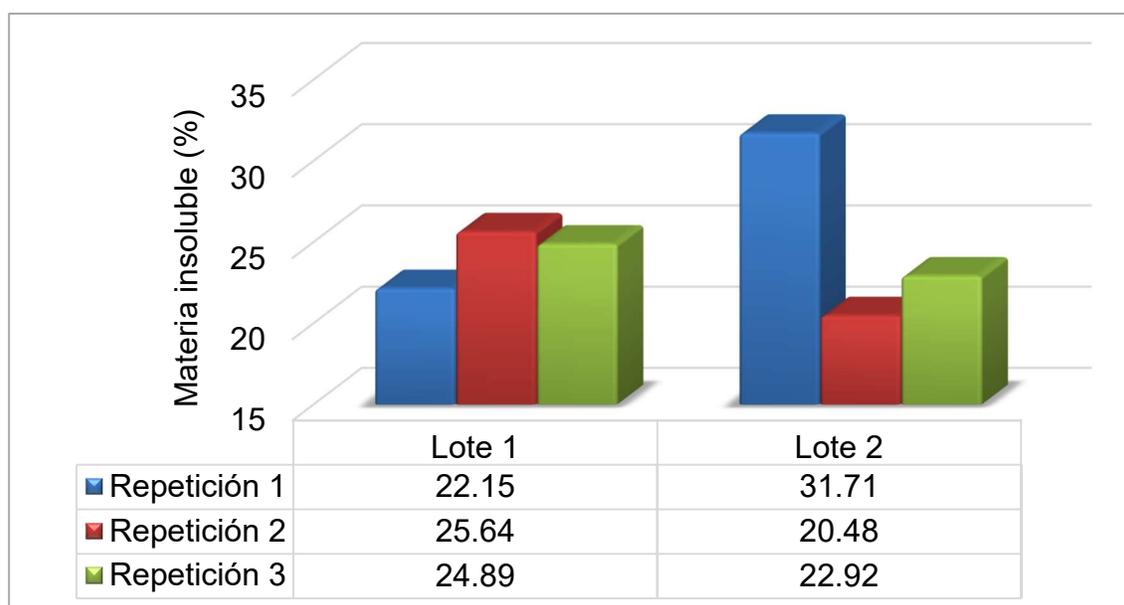


Figura 4.4 Porcentaje de materia insoluble.

El exoesqueleto de camarón presenta diversos minerales y grupos funcionales poco solubles, estos influyen en el porcentaje de materia insoluble del quitosano generado (Balanta, Grande & Zuluaga, 2010; Aranday-Garcia, 2018)., el producto obtenido mostró buen porcentaje y gracias a esto puede ser empleado como floculante en aguas residuales.

#### 4.2.5 Viscosidad

La viscosidad presentada en los tratamientos se muestra a continuación en la figura 4.5 en donde destaca la variación en todos los lotes, ya que solo existe una cercanía entre los lotes L1R1 y L2R2. De acuerdo a los resultados obtenidos, el lote que presenta mejores cualidades para ser empleado como floculante en la remoción de cromo en aguas es el L1R1.

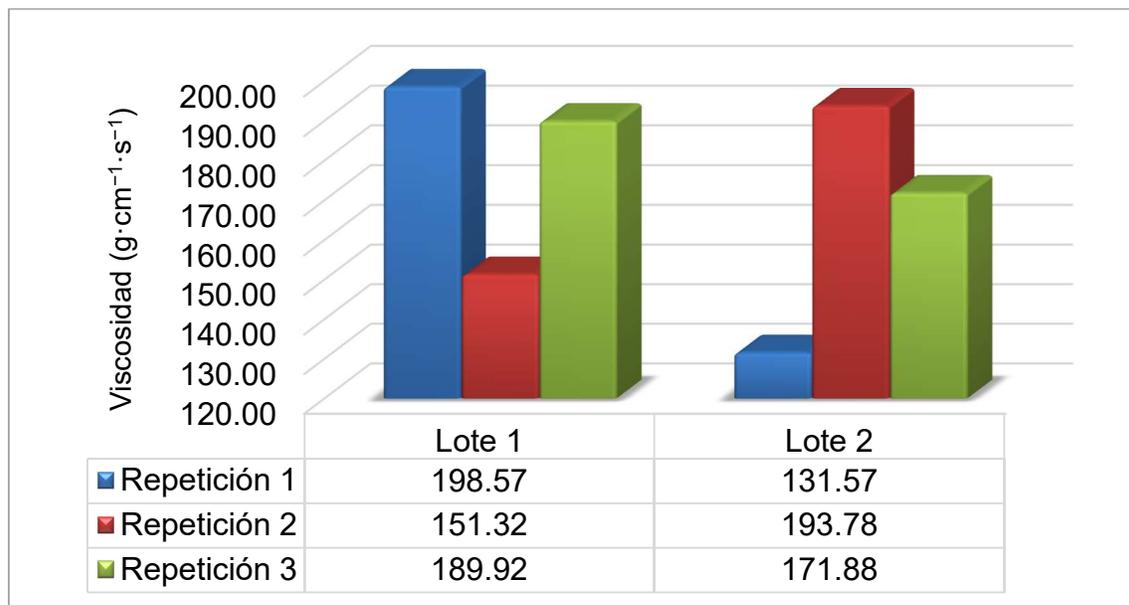


Figura 4.5. Viscosidad del quitosano.

El comportamiento de la viscosidad es inversamente proporcional al porcentaje de materia insoluble, ya que la viscosidad depende de que tan fácil se disocian los enlaces del biopolímero (Parada *et al.*, 2004). Debido a esto los lotes que presentan una mayor viscosidad son los que presentan un menor porcentaje de materia insoluble. Se destaca que el lote 1 tiene un promedio 179.93 superando por 14.18 al promedio del lote 2. Lo cual indica que este lote puede tener una buena eficiencia al ser empleado como floculante de cromo en aguas por su fácil disociación y bajo contenido de materia insoluble.

## **Capítulo V. Conclusiones.**

Con base en los resultados generados de esta investigación, se concluye que la mayoría de los lotes cuentan con las características apropiadas para ser empleados como floculantes de cromo en agua. Esto debido a los grados de desacetilación (exceptuando el L1R2), la solubilidad y el bajo contenido de materia insoluble.

El tratamiento que presenta las características más adecuadas para ser empleado como floculante es el L1R3, ya que tiene un grado de desacetilación, cercano al de quitosano comercial (75%), presenta baja retención de humedad, tiene el segundo mejor rendimiento global de todas las muestras y presenta bajo contenido de materia insoluble, con una viscosidad adecuada para su aplicación.

Cabe destacar que a pesar de que el L1R2 no es quitosano, debido a que presentó un grado de desacetilación superior al 80%, lo cual lo convierte en quitano; este también presenta características adecuadas para ser empleado como floculante de cromo en aguas residuales.

En cuanto a lo abordado con anterioridad las muestras L1R3 y L2R2 se consideran de alta pureza, debido al grado de desacetilación encontrado, acercándose al porcentaje del quitosano comercial. De lo antes dicho, se desprende que el lote 1 tiene mejores características para ser empleado en la remoción de cromo en aguas

## Capítulo VI. Bibliografía

- Abraca, S. & Mora, B. (2007). Contaminación del agua. *Revista Biocenosis*, 20, pp.1-2
- Acosta, I., Moctezuma-Zárate, M. G., Cárdenas, J. F. & Gutiérrez, C. (2007). Bioadsorción de Cadmio (II) en Solución Acuosa por Biomásas Fúngicas. *Información Tecnológica*, Vol 18(1), 9-14.
- Afonso, D. S. M. & Tevez, H. R. (2011). Degradación y movilidad de los agroquímicos en suelos y aguas naturales: Casos de estudio en Argentina. *ResearchGate*.
- Agency for Toxic Substances and disease Registry (ATSDR) (2006). Chromium Toxicity. Case Studies in Environmental Medicine. Course: SS3048 U.S.; 2006.
- Agua.org (2017). Distribución del agua en el mundo. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. Recuperado de <https://agua.org.mx/distribucion-del-agua-en-mundo/>
- Alba, J. J., Ortega, J. L., Álvarez, H. G., Cervantes, F. M., Ruiz, B. E., Urtiz, E. N. & Martínez, R. A. (2013). Riesgos microbiológicos en agua de bebida: una revisión clínica. *Revista Química Viva - Número 3, año 12*.
- Alvarado, J. D., Almeida, A., Arancibia, M., Carvalho, R. A., Sobral, P. J. A., Barbosa, A. M. Q. H., Monterrey-Quintera, E. S. & Sereno, A. (2007). Método directo para la obtención de quitosano de desperdicios de camarón para la elaboración de películas biodegradables. *Afinidad*, 64 (531), 605-611.
- Anónimo (2010) “El camarón, el principal producto acuícola de México” en *Panorama Acuícola Magazine*. Vol. 16, Núm. 1, pp. 11-13.
- Aranday-Garcia, R. (2018). Obtención y caracterización de nanofibrillas de quitina extraída por métodos biológicos y su desacetilación a quitosano. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana, México D. F.
- Araujo, J., Negrón, E., Velazco, G., Suárez, D., González, A. & Florido, R. (2018). Estudio comparativo clínico-radiográfico de la eficiencia del xerogel y liposoma a base de quitosano para el tratamiento de la osteítis alveolar en ratas wistar. *ACTA BIOCLINICA*, Volumen 8, N° 15.
- Artunduaga-Cuellar, O. F. (2015). Tratamientos para la remoción de Cromo (VI) presente en aguas residuales. *Revista Nova*, vol. 1, no. 1, pp. 66-73.
- ATSDR (2004). COBRE. División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQs.
- ASTDR (2005a). NÍQUEL. División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQs.
- ASTDR (2005b). ZINC. División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQs.
- ATSDR (2007). ARSÉNICO. División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQs.
- ASTDR (2008). CADMIO. División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQs.

- ATSDR (2012). CROMO. División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQs.
- ATSDR (2019). PLOMO. División de Toxicología y Ciencias de la Salud ToxFAQs.
- Bae, S. J., Freeman, S. H. & Kim, D. S. (2006). Influences of new azo dyes to the aquatic ecosystem. *Fiber Polymer*. Vol. 7, pp. 30-35.
- Balla-Paguay, E. V. (2010). Curtición de pieles de Cuy con la utilización de tres niveles de curtiente mineral sulfato de cromo. Tesis de licenciatura. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Barra, A.A., Romero, S. A., & Beltramino, B. J. (2012). Obtención de quitosano. Sitio Argentino de Producción Animal.
- Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., Velázquez del Valle, M. G., Bosquez-Molina, E. & Sánchez-Domínguez, D. (2005). Quitosano: Una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 7, núm. 1, pp. 1-6.
- Beltran, P. J. A. (2010). Extracción y caracterización de quitosano del camarón titi y su aplicación en la liberación controlada de un fármaco. Tesis de licenciatura. Universidad Del Valla. Santiago de Cali, Colombia.
- Bravo-Inclán, L. A. (2003). Efecto de aguas contaminadas en ecosistemas continentales y manejo de cuencas.
- Calvo-Flores, F. G. (2008). Contaminación del agua. Recuperado de [http://www.ugr.es/~fgarciac/pdf\\_color/tema4%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.ugr.es/~fgarciac/pdf_color/tema4%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)
- Casco, A. A. & Ventura, C. D. R. (2007). Estudio del grado de desacetilación del quitosano y su influencia en la remoción de plomo presente en aguas no potables. Tesis de licenciatura. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
- Cárdenas, C. A., Alvites, G. A., Valladares, C. G., Obregón, D. J. & Vasquez, V. V. (2013). Optimización mediante diseño de mezclas de sinéresis y textura sensorial de yogurt natural batido utilizando tres tipos de hidrocoloides. *Agroind Sci 3*. Recuperado de <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/352/331>
- Chavez-Porras, A. (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. Vol. 9, No. 17, pp. 41-50.
- Chen, Y. et al., (2013). Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>

- Chromium VI (hexavalent chromium) entry. Environmental contaminants encyclopedia Compilers/ editors: Roy J. Irwin, National Park Service. Colorado State University National Park Service (1997). Water Resources Divisions, Water Operations Branch.
- CIDETEQ (2018). ¿Sabías que los residuos de las cáscaras de camarón se pueden utilizar para la descontaminación de agua? Recuperado el 6 de junio de 2018 de <http://www.cideteq.mx/sabias-que-los-residuos-de-las-cascaras-de-camaron-se-pueden-utilizar-para-la-descontaminacion-de-agua/>
- Condorchem Envitech (2019). Generación de energía a partir de aguas residuales urbanas: Proyecto LIFE SAVING-E. Recuperado de <https://blog.condorchem.com/tag/aguas-urbanas/>
- Córdoba, M. Del Cocco, V. & Basualdo, J. (2010). Agua y salud humana. Revista Química Viva – Número 3, año 9.
- Córdova, B. H. J., Vragas, P. R., Téllez, M. L., Cesare, C. M. F., Becker, R., Visitación, F. L. (2013). Influencia del uso de acomplexantes en el baño de curtido sobre la calidad final del cuero. Revista Sociedad Química Perú. 79 (4).
- Coreño-Alonso, A., Tomasini-Campocoso, A. & Reyna-López, G. E. (2010). Cromo: lo bueno y lo malo, los inicios de una historia. Revista Enlace Químico. No. 7, Vol. 2.
- Corona-Suarez, I. J. (2013). Síntesis y caracterización fisicoquímica de un andamio celular a base de quitosano biológico-químico y colágena tipo I. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, México D. F.
- Corzo, E. I. & Velásquez, H. M. (2014). El plomo y sus efectos en la salud. Acta Médica del Centro. Vol. 8 No. 3.
- Cuberos, E., Rodríguez, I. A. & Prieto, E. (2009). Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia. Rev. salud pública. 11 (2): 278-289.
- EcuRed (2018). Cromo. Recuperado de [www.ecured.cu/Cromo](http://www.ecured.cu/Cromo).
- Edén Springs España (2019). Aguas naturalmente contaminadas. Recuperado de <https://www.aguaeden.es/blog/aguas-naturalmente-contaminadas>.
- Espadín-Dávila, A. U. (2012). Preparación y caracterización de materiales a base de quitosano biológico-químico y derivados del ácido láctico. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México D. F.
- Espinoza, P. A. & Bermúdez, A. M. (2012). La acuicultura y su impacto al medio ambiente. Estudios Sociales.
- Fernández-Bremauntz A., Yarto-Ramírez M. y Castro-Díaz J. (2004). Las sustancias tóxicas persistentes. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. Ciudad de México, México, 260 pp.

- Fransisca, Y. et al., (2015). Assessment of arsenic in Australian grown and imported rice varieties on sale in Australia and potential links with irrigation practises and soil geochemistry. *Chemosphere*, 138, pp.1008–1013. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.048>.
- Fuentes, L., Contreras, W., Perozo, R., Mendoza, I. & Villegas, Z. (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Multiciencias*, vol. 8, pp. 281-287.
- García, M. A. (2008). Películas y cubiertas de quitosana en la conservación de vegetales. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* Vol. 18, No. 1.
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I. & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*. Vol.7, No.2 - 52 – 73.
- Giraldo-Pedraza, J. D. (2015). Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano.
- Granados, S., Quiles, J. L., Gil, A. & Ramírez-Tortosa, M. C. (2006). Lípidos de la dieta y cáncer. *Nutrición Hospitalaria*, No. 21, Vol. 2 pp. 44-54.
- Gräslund, S. (2003) “A field survey of chemicals and biological products used in shrimp farming”. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 46, pp 81-90.
- Gooday, G.W., (1990). The ecology of chitin degradation. *Adv Micro Ecol*;11:387-419.
- Goodman, W. G. (1989). Chitin: A magic bullet. *The Food Insects Newsletter* 2: 1, 6-7.
- Guijarro, E. M., Bonilla, A. F., Arroyo, B. D., Castro, G. M., Santacruz, T. G. & Arama, V. A. (2017). *Revista Cubana de Estomatología*;54(4)
- Harris, R. E. (2010). Quitosano, un biopolímero con aplicaciones en sistemas de liberación controlada de fármacos. Tesis de doctorado. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- Hernández, B. Y. (2004). La quitina y la quitosana, polisacáridos animales de gran importancia.
- Hernández-Cocoletzi, H., Aguila, E. A., Flores, A. O., Viveros, N. E. L. & Ramos, C. E. (2009). Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. *Superficies y Vacío* 22(3) 57-60.
- Hidrotec (2016). Tipos de aguas residuales: por qué es importante conocerlas. Recuperado de <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>
- Juarez-Castellan, C. J. (2012). Obtención y caracterización de quitina biológica y su desacetilación a quitosano. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México D. F.
- Khiari, Z., Rico, D., Martin-Diana, A.B. & Barry-Ryan, C. (2011). The extraction of gelatine from mackarel (*Scomber scombrus*) heads with the use of different organic acids. *Journal of FisheriesSciences.com*. 5, (1):52-63.

- LaRed21. (09 de enero de 2013). *¿Cuánta agua hay en la Tierra?* Recuperado el 15 de marzo de 2018, de <http://www.lr21.com.uy/tecnologia/1082611-cuanta-agua-hay-en-la-tierra>
- Lárez-Velásquez, C. (2008). Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *Revista UDO Agrícola* 8 (1): pp 1-22.
- Lárez, V. C., (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en Química (en línea)*, 1 (Fecha de consulta: 5 de junio de 2018) Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93310204>> ISSN 1856-5301
- Lauwerys RR. (2007). *Toxicologie Industrielle et intoxications professionnelles*. 5th ed. Paris: Masson, pp 240-254.
- Lemos, D. C., & Mina, C. A. (2015). Polihidroxicanoatos (PHA) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial. *Informados Técnico*, volumen 79 (1), pp. 93-101
- LENNTECH (2019). Cromo. Recuperado de [www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm](http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm).
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) (2003). SEMMARNAT, México.
- Li, N. et al., (2015). Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. *Science of the Total Environment*, 521-522, pp.144–151. Recuperado de [http:// dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081](http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081).
- López, C. P. (2014). Obtención de quitosano a partir de desechos del exoesqueleto de camarón tití (*xiphopenaeus riveti*) para el desarrollo de películas poliméricas plastificadas con glicerina. Universidad de San Buenaventura, Santiago de Cali.
- Martínez-Camacho, A. P. (2009). Propiedades estructurales y fungistáticas de biopelículas de quitosano obtenido de ensilados de desechos de camarón. Tesis de maestría. Universidad de Sonora. Hermosillo, México.
- Mercado, M. I. D., González, S. G. & Valencia, H. S. H. (2013). Remoción de níquel y DQO presentes en las aguas residuales de la industria automotriz mediante electrocoagulación. *Revista EIA*, Vol. 10, No. 19, pp. 13-21.
- MINERIAMIT (2018). Usos del cromo. Recuperado de <https://mineriamit.wordpress.com/2018/02/20/usos-del-cromo/>.
- Molina, M. P., Aguilar, C. P. & Cordovez, W. C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular* Vol. 8, No. 1, pp. 77-88
- Monter-Miranda, J.G., Tirado-Gallegos, J.M., Zamudio-Flores, P.B., Rios-Velasco, C., Ornelas-Paz, J. de J., Salgado-Delgado, R., Espinosa-Solis, V. & Hernández-Centeno, F. (2016). Extracción y caracterización de propiedades fisicoquímicas, morfológicas y estructurales de quitina y quitosano de *Brachystola magna* (Girard). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 15, No. 3. pp 749-761

- Muñoz-Cruz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Mineral de la Reforma, Hidalgo.
- Mutlu, H. & Meier, M., (2010). Castor oil as a renewable resource for the chemical industry, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112 (1), pp. 10-30.
- Nakamatzu, K. J. (2012). La Quitosana. *Revista de Química PUCP*, vol. 26, nº 1-2
- Nieto, O. C. R. & Orellana, U. V. P. (2011). Aplicación de quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. Tesis de licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- Nilia de la Paz, D. P., Fenández, M., López, O. D., Nogueira, A., García, C. M., Pérez, D., Tobella, J., Montes de Oca, Y. & Díaz, D. (2012). Optimización del proceso de obtención de quitosano derivada de la quitina de langosta. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Volumen 13(3).
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Norziah, M.H., Al-Hassan, A., Khairulnizam, A.B., Mordi, M.N. & Norita, M. (2009). Characterization of fish gelatin from surimi processing wastes: Thermal analysis and effect of transglutaminase on gel properties. *Food Hydrocolloids*. 23,1610-1616.
- Onicrono (2016). Las aplicaciones de los restos de marisco que no te imaginas. Recuperado de [omicronno.elespanol.com/2016/06/aplicaciones-del-quitosano/](http://omicronno.elespanol.com/2016/06/aplicaciones-del-quitosano/)
- OMS. (2017). *Agua*. Recuperado de <http://www.who.int/topics/water/es/>
- OMS (2018). E. coli. Recuperado de [www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli)
- ONU. (2018). *AGUA*. Recuperado de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>
- Orrego, C & Rodríguez, L. J. (2016). Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: Revisión bibliográfica. *Revista Científica*, 25, 252-264.
- Orta Arrazcaeta, L. (2002) contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *FITOSANIDAD* vol. 6, no. 3. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2091/209118292006.pdf>
- Osorio, E. (2018). Aceros/aleaciones de cromo-cobalto/aleaciones de níquel-titanio. Recuperado de [www.studocu.com/es/document/universidad-de-granada/materiales-ii/apuntes/aceros-y-aleaciones-de-cromo-cobalto-y-aleaciones-de-niquel-titanio/2494227/view](http://www.studocu.com/es/document/universidad-de-granada/materiales-ii/apuntes/aceros-y-aleaciones-de-cromo-cobalto-y-aleaciones-de-niquel-titanio/2494227/view)
- Padilla, E. D. (1999). Aplicaciones de los aceros inoxidables. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*. Vol. 2, No. 3.
- Pastor A. (2004). Quitina y quitosano: obtención, caracterización y aplicaciones. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial.

- Paz-Lago, D., Cabrera, G., Ramírez, M., Pombo, R. & Gutiérrez, A. (1999). Influencia de derivados de quitina en la interacción tomate-Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici a nivel de bioensayo. *Cultivos Tropicales* 20: 59-61.
- Paz, N., Pérez, D., Fernández, M., López, O. D., Nogueira, A., Paneque, M. P., Valentin, S. A. Gacia, C. M. (2013). Evaluación viscosimétrica del quitosano derivado de la quitina de langosta. *Revista Iberoamericana de Polímero*. Volumen 14(2).
- Pellón, A., Frades, J., Chacón, A., Pérez, E., Oña, A., Espinosa, M. C., Ramos-Alvariño, C., Mayarí, R & Escobedo, R. (2005). Eliminación de cromo y cadmio mediante *Scenedesmus obliquus* en estado inmovilizado. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 36, núm. 3, pp. 175-180.
- Peniche, C. C. (2006). Estudios sobre quitina y quitosana. Facultad de química. Universidad de La Habana, La Habana.
- Percot, A., Viton, C. & Domard, A. (2003). Optimization of chitin extraction from shrimp shells. *Biomacromolecules*. Vol. 4. pp.12-18.
- Pérez-García, P. E. & Azcona-Cruz, M. I. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, vol. 17, núm. 3, pp. 199-205.
- Pérez-Rodríguez, L. A. (2010). Biopolímeros como una alternativa de sustitución de polímeros sintéticos. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional, D.F. México.
- PNUD. (2018). Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento. Recuperado el 21 de MARZO de 2018, de <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- Polo-Galindo, I. M. (2016). Sostenibilidad: Obtención de Quitina a partir de Productos de Desecho. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Prieto, M. J., Gonzáles, R. C. A., Román, G. A. D. & García, P. F. (2009). Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 10, núm. 1, pp. 29-44.
- Prockop, D. J. & Guzman, N. A. (1981). El colágeno. *Tiempos Medicos*, No. 191
- Pulido, A. M. P., Ávila, N. S. L., Estupiñan, T. S. M. & Gómez, P. A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas*, v. 3, n. 4, p. 69-79.
- Raffo, L. E. & Ruíz, L. E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, vol. 17, núm. 1, pp. 71-80.
- Ramalho, R. S. (2003). Tratamiento de aguas residuales. Barcelona: España. Editorial Reverté S. A.
- Ramírez-Barragán, C. A., Delgado-Fornué, E. & Andrade-Ortega, J. A. (2016). Determinación del grado de desacetilación de quitosana mediante titulación potenciométrica, FTIR y Raman. *Journal CIM*. Vol. 4. Num. 1. Coloquio de Investigación Multidisciplinaria.

- Ramírez-Guerra, H. E., Ramírez-Suarez, J. C. & Manzorra-Manzano, M. A. (2013). Propiedades biológicas de péptidos derivados del colágeno de organismos marinos. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, Vol. 15, No. 3.
- Ramírez-Guiorzo, R. & Vargas-Salinas, J. Cuantificación de metales pesados Pb, Cr y Cd en aguas superficial, sedimento y *Ananas Comosus* (piña) en el curso de agua de la zona de influencia del relave en *Samne-Otuzco*. Universidad Nacional de Trujillo Facultad de Ingeniería Química Escuela de Ingeniería Ambiental, Trujillo, Perú.
- Ramírez, J. A. & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch Prev Riesgos Labor*. Vol. 4, No. 2. pp 67-75.
- Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz-Lagos, M., & González, E.E., (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16 (2), pp. 66-77.
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M. & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 35(2): 236-247.
- Rodríguez-Pedroso, A. T., Ramírez-Arrebato, M. A., Rivero-González, D., Bosquez-Molina, E., Barrera-Necha, L. L. & Bautista-Baños, S. (2009). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(3): 307-317.
- Rodríguez-Pimentel, H. (2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. Recuperado de [www.iagua.es](http://www.iagua.es)
- Rodríguez, S. E. Sandoval, A. A. & Ayala, A. A. (2003). Hidrocoloides naturales de origen vegetal. *Tecnura*, No. 13.
- Romero F.M. y Gutiérrez-Ruiz M. (2010). Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en el sur y centro de México. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 64, 43-53.
- Rubio, C. D. I., Calderón, M. R. A., Gualtero, A. P., Acosta, R. D. & Rojas, S. I. A. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. *Revista Ingeniería y Región*. Vol.13(1), pp. 73-90.
- Sancha, A. M. & Lira, L. (2002). Presencia de Cobre en Aguas de Consumo Humano: Causas, Efectos y Soluciones.
- Sato, H., Mizutani, S., Tsuge, S. (1998.) Determination of the degree of acetylation of chitin/chitosan by pyrolysis-Gas chromatography in the presence of oxalic acid. *Analytical Chemistry* 70: 7-12.
- Singh, A. et al., (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2 SUPPL.), pp.375–387. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>.

- Singh, P. K., & Tewari, R. K. (2003). Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and Oxidativemetabolism of *Brassica juncea* L. plants. *Journal of Environmental Biology*, 24(1), 107-112
- Téllez-Castañeda, J. (2018). El cultivo de camarón en México, una industria con futuro. *El Economista*.
- Téllez J, Carvajal R. M, Gaitán A. M. (2004). Aspectos Toxicológicos Relacionados con la Utilización del Cromo en el proceso Productivo de Curtiembres. *Revista Facultad de Medicina Universidad Nacional de Colombia*;52(1):50-61
- Tenorio-Rivas, G. (2006). Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna. Tesis de doctorado. Universidad de Granada. Granada, España.
- Tharanathan, R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Critical Review in Food Science and Technology* 14:71-78.
- Toxicological review of Trivalent Chromium. In support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). (1998). EPA. Si es una norma, poner de dónde se obtuvo
- Trichodex (2016). Quitosano (Poli-D-Glucosamina): La nanotecnología al servicio de la agricultura. Recuperado de [www.trichodex.com/quitosano-poli-d-glucosamina-la-nanotecnologia-al-servicio-de-la-agricultura/](http://www.trichodex.com/quitosano-poli-d-glucosamina-la-nanotecnologia-al-servicio-de-la-agricultura/)
- UNESCO. (2017). Mensaje de la Directora General de la UNESCO, Irina Bokova, con motivo del Día Mundial del Agua. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/es/unesco/events/prizes-andcelebrations/celebrations/international-days/world-water-day-2017/>
- Valero-Valdivieso, M. F., Ortigón, Y., & Uscategui, Y. (2013). BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS. *Dyna*, año 80, Nro. 181, pp. 171-180.
- Villada, S. H., Acosta, H. A., & Velasco, R. J. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *TEMAS AGRARIOS - Vol. 12:(2)*.
- Volke-Sepulveda T., Velasco-Trejo J. A. y de la Rosa Pérez D. A. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Ciudad de México, México, 144 pp.
- Yamakawa, H. (2001). *Modern theory of polymer solutions*. Harper & Row Publishers Inc, Electronic edition.
- Yu, R. & Hang, Y. D. (1989). Kinetics of direct fermentation of agricultural commodities to L (+) lactic acid by *Rhizopus oryzae*. *Biotechnology Letters* Vol 11: 597-600.
- Wall, L. G. (2002). *Plantas, bacterias, hongos, mi mujer, el cocinero y su amante*. Buenos Aires, Argentina: Siglo XXI Editores.

Wei, W., Yu, D. & Xiao, W. (2008). Physical properties of fungal chitosan. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 24: 2717- 2720.