

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**RECINTO UNIVERSITARIO “SIMÓN BOLÍVAR”**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

Mon  
660.28423  
D948  
2011



**Monografía para optar al grado de**  
**Ingeniero Químico**

**“Estudio de cinética y equilibrio de adsorción del carbono orgánico  
disuelto (DOC) en aguas sobre quitosana de diferentes pesos  
moleculares”**

Br. Brenda Esmeralda Durán Padilla.

Tutor: Dra. Indiana García G.

**Managua, Nicaragua**  
**Agosto 2011**

# OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO GUIA

Managua 04 de Mayo de 2011

Ing. Leonardo Chavarría

Decano FIQ

Estimado Ing. Chavarría:

Por este medio hago constar que he revisado exhaustivamente la tesis de la Bachiller Brenda Esmeralda Durán Padilla cuyo título es “Estudio de la cinética y equilibrio de adsorción del carbono orgánico disuelto (DOC) en aguas sobre quitosana de diferentes pesos moleculares”

Esta investigación consistió en tomar muestras de agua superficiales de tres fuentes potabilizadoras, también se tomó agua preparada de laboratorio para controlar variables como: pH, concentración de ácido húmico, fuerza iónica, quitosana de diferentes pesos moleculares, con el objetivo de estudiar la cinética y equilibrio de adsorción de la materia orgánica natural medida como carbono orgánico disuelto.

Este estudio es gran importancia debido a que la materia orgánica presente en el agua trae consigo grandes consecuencia que afecta directamente la salud humana al formarse sub-productos de la desinfección (DBPs) en la etapa de desinfección, por eso se debe de estudiar la quitosana como adsorbente natural para remover la materia orgánica.

Sin más a que referirme

Dra. Indiana García

Profesor Titular

## RESUMEN

El presente trabajo consistió en estudiar la cinética y el equilibrio de adsorción de la materia orgánica natural presente en aguas de tres fuentes que son utilizadas para el suministro de agua potable en las ciudades de Boaco, Juigalpa y Ocotal. El contenido de materia orgánica fue medido como carbono orgánico disuelto y como material adsorbente se utilizó quitosana comercial (ALDRICH) de diferentes pesos moleculares (bajo, medio y alto). Así mismo para conocer mejor la capacidad de adsorción de la quitosana sin la influencia de otros iones en solución se usó agua preparada en el laboratorio a diferentes concentraciones de ácido húmico (componente de la materia orgánica natural) de 10 mg/L a 50 mg/L, variando el pH de 4 a 8, y se hizo uso de NaCl como simulador de la fuerza iónica que presenta el agua cruda con concentraciones de 0.00 M, 0.01 M y 0.05 M.

Para estudiar mejor la cinética y equilibrio se caracterizaron las tres fuentes agua natural en estudio. Encontrándose que las aguas provenientes de ríos (Ocotal y Boaco) presentaron mayor cantidad de materia orgánica natural en comparación con el agua del Lago de Nicaragua (Juigalpa). Esto se debe a diversos factores que influye en el contenido de materia orgánica tales como: los distintos tipos de contaminantes que entran en cada una de las cuencas, también el tipo de suelo, la vegetación y el sitio de captación que hace que la calidad del agua no sea la misma en cada fuente abastecedora.

La cinética que describe mejor la adsorción de materia orgánica natural en quitosana fue la reacción de pseudo-segundo orden, mostrando capacidades de adsorción mayores a pH bajos (pH=4 y pH=5), peso molecular alto y medio de quitosana. En cuanto al agua preparada en laboratorio al controlar las variables: pH, peso molecular de quitosana, fuerza iónica y concentración de ácido húmico, se determinó que las mayores capacidades de adsorción se obtuvieron a pH=4 y pH=5, con quitosana de alto y medio peso molecular y fuerza iónica de 0.05 M.

La isoterma que muestra mejor el ajuste del equilibrio de adsorción tanto en agua cruda como en agua preparada en laboratorio fue el modelo de Langmuir, correspondiendo a una adsorción en monocapa.

A MIS PADRES

## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo a Dios por brindarme las fuerzas necesarias para hacer posible la culminación de mi tesis con éxito.

A mi tutora, Dra. Indiana García Granados, por su apoyo y ayuda incondicional, por el tiempo que me brindo para desarrollar el presente trabajo, por sus consejos, enseñanzas y por su amistad que me brindo en el transcurso del presente trabajo.

A los profesores Ing. Javier Ramírez e Lic. Eng. Martha Benavente quienes aportaron un granito de sus conocimientos para la culminación de este trabajo monográfico, gracias por su tiempo y ayuda brindada.

A mi madre del alma y a mis hermanos por estar presente en cada momento de mi vida. A mi padre por sus sabios consejos, por apoyarme incondicionalmente, por darme fuerzas necesarias para seguir adelante, por hacer una meta más en mi vida posible.

Al programa UNI-ASD/SAREC-FIQ por proporcionarme los recursos necesarios para que se llevara a cabo esta investigación.

A mis compañeros y amigos que de una u otra manera me animaron y me brindaron su apoyo.

¡GRACIAS!

# TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>I. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II. Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>III. Marco de Referencia</b>	<b>4</b>
3.1 Agua	4
3.2 Características Físico-Químicas	5
3.1.1 Características Físicas	5
3.1.2 Características Químicas	7
3.3 Materia Orgánica Natural del Agua	9
3.3.1 Características y Propiedades de la NOM	10
3.3.2 Métodos Analíticos para Determinar la NOM	10
3.4 Adsorción	13
3.4.1 Principios de la Adsorción	13
3.4.2 Fenómeno de Adsorción	14
3.4.3 Adsorbentes	14
3.5 Quitosana	15
3.5.1 Característica de la Quitosana	15
3.5.2 Capacidad de Adsorción de la Quitosana	16
3.6 Modelos de Adsorción	17
3.7 Capacidad de Adsorción	19
3.8 Cinética de Adsorción	20

3.8.1	Primer Orden	20
3.8.2	Segundo Orden	21
3.8.3	Pseudo-Primer-Orden	23
3.8.4	Pseudo-Segundo-Orden	24
3.9	Tratamiento de Desinfección para Potabilizar Agua Cruda	24
3.9.1	Métodos de Control y Reducción de los Trihalometanos	25
3.9.2	Efectos en la Salud (DBPs)	27
<b>IV.</b>	<b>Diseño Metodológico</b>	<b>28</b>
4.1	Método de Investigación	28
4.2	Tipo de Investigación	28
4.3	Universo	29
4.4	Muestra	29
4.5	Herramientas de Recolección de Datos	29
4.5.1	Recopilación de Información	30
4.5.2	Ficha de Campo	30
4.5.3	Ficha de Laboratorio	30
4.6	Diseño de Experimento	30
4.7	Cinética y Equilibrio de Adsorción de la Materia Orgánica Natural en la Quitosana	32
4.8	Variables a Estudiar	33
4.9	Procesamiento y Análisis de la Información	33



<b>V. Discusión y Resultados</b>	<b>36</b>
5.1 Caracterización del Agua Cruda	36
5.2 Cinética de Adsorción de las Aguas Naturales	39
5.2.1 Modelos Cinéticos de las Aguas Naturales	39
5.2.2 Comportamiento de la Cinética de Adsorción, Aguas Naturales	41
5.3 Agua Preparada en Laboratorio	43
5.3.1 Concentración-pH	43
5.3.2 Concentración-Fuerza Iónica	45
5.3.4 Peso Molecular de Quitosana-Fuerza Iónica	47
5.3.5 Peso Molecular-pH	48
5.4 Cinética de Adsorción, Agua Preparada	49
5.4.1 Modelos Cinéticos	49
5.4.2 Comportamiento de la Cinética de Adsorción, Agua Preparada	52
5.5 Equilibrio de Adsorción, Agua Cruda	54
5.5.1 Modelos Isotermas, Agua Cruda	54
5.5.2 Comportamiento del Equilibrio Adsorción, Agua Cruda	55
5.6. Equilibrio de Adsorción, Agua Preparada	56
5.6.1 Modelos Isotermas, Agua Preparada	56
5.6.2 Comportamiento de Equilibrio de Adsorción, Agua Preparada	58
<b>VI. Conclusión</b>	<b>60</b>
<b>VII. Recomendación</b>	<b>61</b>
<b>VIII. Lista de Abreviaturas</b>	<b>63</b>

<b>IX. Referencias Bibliográficas</b>	<b>64</b>
<b>Anexo A</b>	<b>70</b>
<b>Anexo B</b>	<b>81</b>
<b>Anexo C</b>	<b>84</b>
<b>Anexo D</b>	<b>99</b>
<b>Anexo E</b>	<b>109</b>
<b>Anexo F</b>	<b>117</b>
<b>Anexo G</b>	<b>120</b>
<b>Anexo H</b>	<b>123</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
3.1 Fraccionamiento de la Sustancias Húmicas	10
3.2 Estructura Molecular de la Quitosana	15
5.1 Comportamiento Cinético Pseudo Segundo Orden, Agua Cruda	42
5.2 Concentración de Ácido Húmico-pH	44
5.3 Concentración de Ácido Húmico-Fuerza Iónica	45
5.4 Concentración de Ácido Húmico-Peso Molecular de Quitosana	46
5.5 Peso Molecular de Quitosana-Fuerza Iónica	47
5.6 Peso Molecular de Quitosana-pH	48
5.7 Comportamiento Cinético Pseudo Segundo Orden, Agua Preparada	53
5.8 Modelo Langmuir, Agua Cruda	53
5.9 Modelo Langmuir, Agua Preparada	59

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>	
3.1	Valores Guías para Interpretar SUVA	12
3.2	Características y Aplicaciones de la Quitosana	16
4.1	Diseño de Base	31
4.2	Factores en Estudio	31
4.3	Variables de Respuestas	31
4.4	Variables y Métodos	33
5.1	Caracterización del Agua Cruda	36
5.2	Modelo Cinético, Boaco	39
5.3	Modelo Cinético, Juigalpa	40
5.4	Modelo Cinético, Ocotlán	40
5.5	Modelo Cinético, Ácido Húmico 10 mg/L	49
5.6	Modelo Cinético, Ácido Húmico 20 mg/L	50
5.7	Modelo Cinético, Ácido Húmico 30 mg/L	50
5.8	Modelo Cinético, Ácido Húmico 40 mg/L	51
5.9	Modelo Cinético, Ácido Húmico 50 mg/L	51
5.10	Modelo Isoterma, Agua Cruda	54
5.11	Modelo Isoterma, Fuerza Iónica 0.00 M	56
5.12	Modelo Isoterma, Fuerza Iónica 0.01 M	57



## I. Introducción

El agua potable es de gran importancia para la supervivencia humana, pero no todas las personas tienen la posibilidad de obtenerla con la calidad, cantidad, cobertura y continuidad necesaria, esto es debido a que el desarrollo económico y el crecimiento de la población han hecho que la posibilidad de obtención del agua disminuya debido a la pérdida y contaminación de las fuentes.

El agua para el consumo humano debe cumplir con los parámetros permitidos por la Norma CAPRE (2002) con el objetivo de no desencadenar ningún problema de salud pública. Las plantas potabilizadoras con que Nicaragua cuenta presentan ciertas dificultades. Esto se debe al tipo de tratamiento que emplean el cual no es suficiente para que la materia orgánica natural (NOM), formada por sustancias húmicas y no húmicas presentes en el agua, sean removidas en su totalidad. La NOM reacciona con el cloro en el proceso de desinfección originando la formación de productos potencialmente tóxicos como los subproductos de la desinfección (DBPs) como trihalometanos (THMs), y ácidos haloacéticos (HAAs), los cuales son mutagénicos y cancerígenos (Bolto y Gregory, 2007; Lin, 2007; McLachlan, 1995).

Actualmente existen tratamientos alternativos para reducir la presencia de materia orgánica como: filtración por membrana, intercambio iónico, adsorción con carbón activado, pero son tecnologías de alto costo muy difíciles de ser utilizados en Nicaragua. Por lo que de acuerdo a la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, 1998) el empleo de coagulación mejorada es una de las mejores tecnologías de bajo costo (Escobar, 2010) para controlar los precursores de los DBPs en países en vías de desarrollo, sin embargo esto implica el uso de mayores dosis de coagulantes y la generación de más lodos (Tapia y Reyes, 2010).

La búsqueda para resolver los problemas que origina la presencia de la materia orgánica natural es una necesidad imperante para reducir el riesgo de enfermedades a las personas que consumen este vital líquido, así como también desarrollar un tratamiento viable y eficaz para las condiciones sociales y económicas de Nicaragua.

Por tanto se decide estudiar la cinética y equilibrio de adsorción de la materia orgánica natural de las fuentes abastecedoras de las plantas potabilizadoras de Boaco, Juigalpa y Ocotal usando quitosana de diferentes peso moleculares (bajo, medio, alto) como adsorbente natural. Además de usar agua preparada en laboratorio a diferentes concentraciones de ácido húmico y fuerza iónica, para estudiar mejor el fenómeno de adsorción ya que sólo él ácido húmico está presente en el agua preparada.

En estos experimentos se utilizó quitosana, comercial, ya que es un compuesto que tiene excelente cualidad como coagulante y floculante así como absorbente de metales pesados (Roussy et al., 2005). La quitosana se obtiene de la desacetilación de la quitina que es extraída de la caparazón de crustáceos; éstos caparazones son desechados y generalmente depositados en los botaderos de basuras o cuerpos de agua contribuyendo al incremento de la contaminación por lo que su uso como adsorbente es una solución para reducir el impacto de éstos al ambiente.

## II. Objetivos

### Objetivo General

- Estudiar la cinética y equilibrio de adsorción de la materia orgánica en quitosana medida como carbono orgánico disuelto a diferentes pesos moleculares usando agua superficial de tres plantas potabilizadoras.

### Objetivo Específicos

- Caracterizar el contenido de materia orgánica natural de tres fuentes que abastecen de agua a las plantas potabilizadoras de Boaco, Juigalpa y Ocotal.
- Estudiar la cinética de adsorción de la materia orgánica natural medida como carbono orgánico disuelto en quitosana a diferentes pesos moleculares: bajo, medio y alto.
- Determinar el equilibrio de adsorción de la materia orgánica natural en quitosana utilizando las ecuaciones de Freundlich, Langmuir y Redlich-Peterson.
- Estudiar la cinética de adsorción y equilibrio, de los modelos de isoterma (Freundlich, Langmuir y Redlich-Peterson), en agua preparada en el laboratorio conteniendo ácido húmico para controlar las condiciones experimentales de adsorción.



### **III. Marco de Referencia**

En este capítulo se abordan la calidad química y las características orgánicas del agua así como la cinética y el equilibrio de adsorción del carbono orgánico disuelto presente en el agua.

#### **3.1. Agua**

El agua es el producto de la combinación de dos átomos de oxígeno y uno de hidrógeno. En forma natural el agua puede presentarse en estados físicos, sin embargo, debe tenerse en cuenta que en forma natural casi no existe pura, pues casi siempre contiene sustancias minerales y orgánicas disueltas ó en suspensión. Gran parte del agua del planeta, alrededor del 98%, corresponde a agua salada que se encuentra en mares y océanos, el resto es agua dulce donde el 69% corresponde a agua atrapada en glaciares y nieves, el 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0.7% se encuentra en forma de ríos y lagos (Romero, 1999).

Nicaragua es un país tropical y uno de los países de América Central más beneficiado en cuanto a recursos hídricos se refiere. Casi un 15% de su superficie lo constituyen lagos, lagunas y ríos (ENACAL 2009). Sin embargo, la disponibilidad de estos recursos tiene un comportamiento estacional y su distribución es desigual (Escobar, 2010).

Actualmente Nicaragua cuenta con ciertas plantas potabilizadoras, todas ubicada en la región central y se abastecen de agua superficiales. El Lago de Nicaragua y los ríos Dipilto y Fonseca son las principales fuentes abastecedoras de agua potable para Juigalpa, Ocotal y Boaco respectivamente. Las plantas

potabilizadoras utilizan todo su caudal para poder suplir la necesidad de los pobladores.

A razón de las limitadas condiciones socio-económicas del país, las plantas de tratamiento no cuentan con las mejores tecnologías para controlar todos los procesos sobrepasando los valores recomendados por la Norma CAPRE.

## **Calidad del Agua**

Se refiere al conjunto de requisitos físicos, químicos y bacteriológicos que deben de cumplirse según la Normativa CAPRE (2002) para que el agua no sea un riesgo para la vida o la salud de la población, y para preservar el medioambiente, ya que el agua al entrar en contacto con el suelo y la atmósfera va adquiriendo elementos o compuestos que desvirtúan su composición original, tanto física, química como bacteriológicamente (Hernández, 2009).

### **3.2. Características Físico-Químicas**

Es el conjunto de características mediante las cuales se cuantifica la calidad del agua.

#### **3.1.1. Características Físicas**

Son aquellas que se detectan con los sentidos, lo cual implica que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua como: turbiedad, color, olor, sabor, temperatura.

##### **a. Turbiedad**

Es la expresión empleada para describir las partículas no solubles, tales como: arcillas, materia mineral, basuras orgánicas y otros organismos microscópicos que están en suspensión ó estado coloidal. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro y las unidades usadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (NTU). Las principales causas de la presencia de turbiedad son:

- Erosión causada por las corrientes
- Crecimiento de microorganismos
- Desechos domésticos e industriales

Las principales causas por las cuales se debe monitorear la turbiedad es que afecta la calidad estética del agua y puede ocasionar rechazo del consumidor.

Un valor alto de la turbiedad, es una indicación de la probable presencia de materia orgánica y microorganismos, disminuyendo la eficiencia de la desinfección. Según CAPRE 2002, se estipula un valor máximo admisible de 5 NTU.

## **b. Color**

El color en el agua está íntimamente ligado con la turbiedad por lo que incide sobre el aspecto estético del agua, quitándole transparencia. Se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, hierro o manganeso coloidal; se considera que el color natural del agua, puede originarse por la incorporación de:

- Desechos industriales
- Productos de la corrosión
- Compuestos metálicos

- Fuentes naturales como el hierro, manganeso y material vegetal en descomposición.

El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente, debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el  $Al^{+3}$  o el  $Fe^{+3}$  (Romero, 1999).

El color en el agua puede estar asociado a sustancias en solución (color verdadero) o a sustancias en suspensión (color aparente). El color verdadero se obtiene a partir de mediciones realizadas sobre muestras filtradas mientras que el color aparente se obtiene de las mediciones directas sobre muestras sin filtrar. La unidad de medición de color se exprese en mg de Platino Cobalto por litro (mg/L Pt-Co) y el valor admisible por la Norma CAPRE (2002) es de 15 mg/L Pt-Co.

### **c. Temperatura**

La temperatura es una variable muy importante en el medio acuático pues influye en el metabolismo de las especies, como productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica, incidiendo directamente en los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración.

#### **3.1.2. Características Químicas**

Debido a que el agua es un solvente universal, existe la posibilidad de que una inmensa cantidad de elementos y compuestos estén presentes en el agua en forma de solución los elementos de interés en este trabajo se mencionan a continuación:

### a. Potencial Hidrógeno (pH)

Expresa la intensidad de las condiciones ácidas ó básicas de una solución cualquiera mediante la concentración del ion hidrógeno y se define como el logaritmo negativo en base 10 de la concentración de iones hidrógenos.

La adición de ácidos fuertes como el ácido sulfúrico ó el clorhídrico disminuyen notablemente el valor de pH, así un álcali aumenta el valor del pH sobre 7 dependiendo de la variación de la intensidad y de la cantidad de álcali que se agregue. Valores de pH menores a 7 indica que la solución es ácida y pH mayores de 7 indican alcalinidad en la solución. El rango recomendado para el agua de consumo es 6.5-8.5 según Norma CAPRE (2002). Relacionando pH con la adsorción de materia orgánica, se ha observado que la adsorción incrementa cuando el pH decrece (García et al., 2011).

### b. Fuerza Iónica

El comportamiento de los iones en disolución está influenciado por un cierto número de factores, principalmente por las atracciones mutuas entre iones de carga opuesta y por las repulsiones entre los iones con carga del mismo signo (Ley de Coulomb), y la influencia de la agitación térmica (Ley de distribución de Boltzman) para contrarrestar las atracciones y repulsiones eléctricas. Los efectos dependen de la composición iónica total de la disolución que viene expresada por su fuerza iónica:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2 \quad (3.1)$$

Dónde:

$\mu$  es la fuerza iónica

$C_i$  es la concentración molar

$Z_i$  es la carga iónica de cada una de los iones existentes en la disolución.

Para una disolución formada por cloruro de sodio (NaCl), la fuerza iónica es igual a la concentración, dado que en el medio hay iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , ambas de igual carga pero de signo contrario (McNaught, 2009). El incremento en la fuerza iónica es directamente proporcional al incremento de la capacidad de adsorción ya que al aumentar la fuerza iónica reduce la repulsión de las moléculas de la materia orgánica en la superficie del adsorbente, permitiendo la adsorción (García et al., 2011).

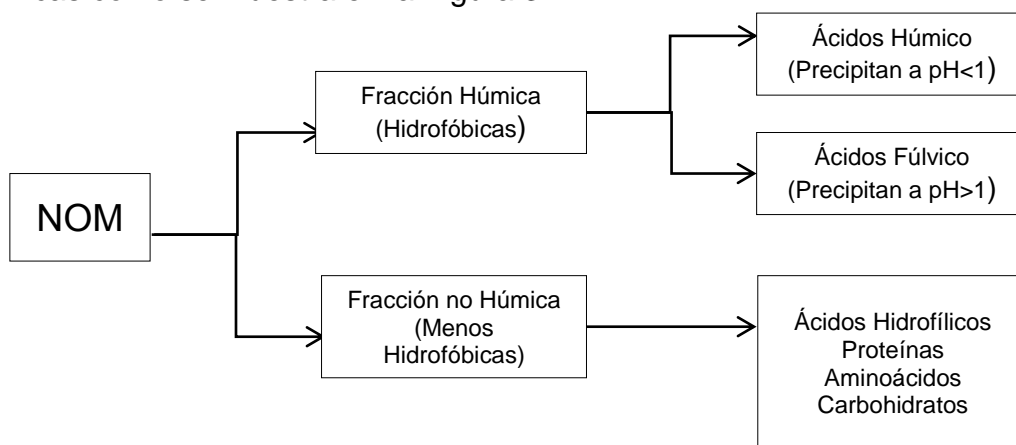
### **3.3. Materia Orgánica Natural del Agua**

La superficie del agua natural contiene materia orgánica (NOM), la cual está constituida fundamentalmente por diversos componentes con respecto a la acidificación, peso molecular y densidad (Edzwald, 1993).

La NOM presente en el agua consiste en sustancias húmicas, resultado de la descomposición de plantas y animales dentro del ciclo hidrológico. La composición química de las sustancias húmicas varía considerablemente según la localidad. Factores como tipos de suelos y vegetación, climatología, topografía, y principalmente las actividades humanas que afectan la composición y concentración de las sustancias húmicas en el agua natural. Las sustancias húmicas aportan al agua un color amarillo-café y su contenido varía desde 35% a 70% según la fuente de agua (Machenbach, 2007).

### 3.3.1. Características y Propiedades de la NOM

La materia orgánica natural presente en el agua contiene compuestos orgánicos que pueden dividirse en dos fracciones: sustancias húmicas y sustancias no húmicas como se muestra en la Figura 3.1



**Figura 3.1** Fraccionamiento de las Sustancias Húmicas.

*Fuente: García, 2005.*

Las sustancias húmicas son consideradas resistente a la degradación bacteriana (Eikebrokk et al., 2006). El color intenso de la sustancias húmicas es causado por la concentración de carbón, peso molecular, y por la polimerización; la carga aniónica decrece con el incremento de la intensidad de color (Stevenson, 1994).

Las sustancias no húmicas son biodegradables y algunas veces se refieren como materia orgánica biodegradable (Eikebrokk et al., 2006).

### 3.3.2. Métodos Analíticos para Determinar la NOM

La concentración de NOM es determinada por la concentración de carbón orgánico disuelto (DOC), la concentración de carbón orgánico total (TOC), así como también por la absorbancia a la luz ultravioleta a 254 nm ( $UV_{254}$ ) y la absorbancia específica ultravioleta (SUVA); todos ellos son usados como indicadores de materia orgánica presente en las fuentes de agua. La materia

orgánica natural debe ser medida por diferentes parámetros, ya que uno sólo no caracteriza la materia orgánica. Una breve descripción se presenta a continuación:

### **Carbón Orgánico Total (TOC)**

Es la medida del contenido total de carbono de los compuestos orgánicos presentes en el agua. Se refiere tanto a compuestos orgánicos fijos como volátiles, naturales o sintéticos.

### **Carbón Orgánico Disuelto (DOC)**

Indica la presencia de compuestos disueltos en el agua que se derivan de la materia orgánica y puede estar constituido por aminoácidos, ácidos grasos, fenoles, azúcares, hidrocarburos, urea, polímeros, esteroides y porfirinas.

La variación de DOC puede ser de 2.2 mg/L para un lago oligotrófico, 5 mg/L para un río, 10 mg/L para un lago eutrófico, 15 mg/L para un pantano y  $\geq 30$  mg/L para agua de pantano (Parsons et al., 2007).

La composición de compuestos orgánicos para un agua de río promedio es 40% ácido fúlvico, 10% ácidos húmicos, 30% ácidos hidrofílicos, 10% carbohidratos, 6% ácidos carboxílicos y 4% aminoácidos (Parsons et al., 2007). Las sustancias húmicas constituyen alrededor del 50% del DOC total en aguas superficiales, sin embargo la proporción puede superar el 80% (Parsons et al., 2007).

### **Absorbancia Ultravioleta a 254 nm (UV<sub>254</sub>)**

Mide las concentraciones de moléculas orgánicas con grupos aromáticos. Este es el principal parámetro a medir para conocer de antemano cuantos sub-productos de la desinfección se formarán en la desinfección con cloro (Fram et al., 1999).



### Absorbancia Específica Ultravioleta (SUVA)

La absorbancia específica ultravioleta (SUVA) es un indicador del contenido hidrofóbico e hidrofílico. SUVA es un valor que se obtiene de dividir la absorción de la luz ultravioleta ( $UV_{254}$ ) entre el valor del carbón orgánico disuelto (DOC). El SUVA es expresado en L/mg-m. La Tabla 3.1 muestra los valores para interpretar el parámetro SUVA.

$$SUVA = \frac{UV_{254} (cm^{-1})}{DOC (mg/L)} \quad (3.2)$$

**Tabla 3.1** Valores Guías para Interpretar SUVA.

SUVA	Composición
< 2	Mayormente no-húmicos Baja hidrofobicidad Compuestos de bajo peso molecular
2-4	Mezcla de material húmico acuático y otros tipos de NOM Mezcla de NOM hidrofóbica e hidrofílica Mezcla de compuestos de distintos pesos moleculares
>4	Mayormente material húmico acuático Alta hidrofobicidad Compuestos de alto peso molecular

*Fuente: Edzwald y Tobiason, 1999.*

### 3.4. Adsorción

La adsorción es un proceso mediante el cual se extrae materia orgánica o inorgánica de una fase y se concentra sobre la superficie de otra fase (generalmente sólida). La sustancia que se concentra en la superficie o se adsorbe se llama “adsorbato” y la otra fase se denomina “adsorbente” (Crockford y Knight, 1964).

#### 3.4.1. Principios de la Adsorción

La materia sólida adsorbe el contenido del material a ser adsorbido presente en el agua, la superficie sólida atrae por medio de fuerzas de atracción a moléculas, átomos e iones en el agua reteniéndolas en la superficie del sólido.

Dependiendo de las fuerzas de interacción entre las moléculas de adsorbente y adsorbato, se conoce la existencia de dos tipos fundamentales de adsorción (Crockford y Knight, 1964). Cuando estas fuerzas son del tipo dipolo-dipolo, dipolo-dipolo inducido o fuerzas de dispersión, se usa el término de adsorción física o fisisorción. Cuando las fuerzas son enlaces covalentes se aplica el término de adsorción química o quimisorción. La adsorción física está asociada con una entalpía de adsorción numéricamente inferior a  $-40 \text{ kJ mol}^{-1}$ , mientras que valores numéricamente mayores a  $-80 \text{ kJ mol}^{-1}$  son característicos de la quimisorción. La entalpía de adsorción física es comparable a la entalpía de condensación, mientras que la entalpía de quimisorción es comparable a la entalpía de las reacciones químicas (Atkins, 1991).

El tipo de adsorción que toma lugar en un sistema adsorbente- adsorbato depende de la naturaleza de estos mismos, de la reactividad de las superficies, área superficial, temperatura y presión de adsorción.

La adsorción de la molécula o el ion en solución es determinada por la porosidad y por la naturaleza química del adsorbente, la composición natural de la solución, el pH, la solubilidad de los componentes en la solución los cuales determinan la intensidad de las fuerzas impulsoras para que ocurra el proceso de adsorción (Volk et al., 2003).

### **3.4.2. Fenómeno de Adsorción**

El fenómeno de adsorción puede estudiarse con relativa facilidad en el laboratorio. Para ello se han desarrollado métodos diversos entre los que se encuentran los métodos de flujo, la desorción súbita, gravimetría y los métodos trazadores radiactivos (Atkins, 1991).

Una de las técnicas más sencillas para analizar el grado de adsorción de un material sobre un adsorbente consiste en trabajar con disoluciones del adsorbato a diferentes concentraciones. Estas concentraciones se pueden determinar de varias maneras, las más comunes son la titulación y la espectrofotometría.

### **3.4.3. Adsorbentes**

Los adsorbentes son materiales naturales como la quitosana o sintéticos de estructura amorfa y microcristalina siendo los más utilizables el carbón activado, la alúmina activa, el gel de sílice, la tierra de fuller (Álvarez, 2005).

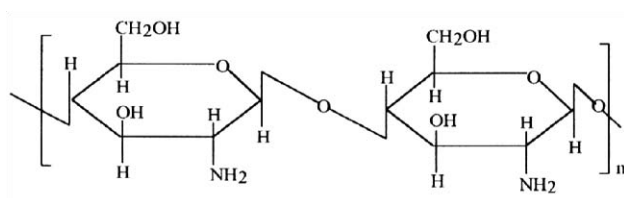
El carbón activado es el adsorbente más conocido para el tratamiento de aguas residuales. Entre los aspectos positivos de la adsorción como método de tratamiento de aguas residuales cabe señalar: su capacidad para trabajar eficazmente a concentraciones bajas de contaminante. Entre los aspectos negativos hay que señalar los costos de operación los cuales suelen ser comparativamente altos, y por esta razón, su empleo es restringido.

### 3.5. Quitosana

La quitosana es un polisacárido natural que es obtenido a través de la desacetilación alcalina de la quitina (Brown, 2009; Arbatskii, 2006) la cual es llevada a cabo por la hidrólisis de los grupos acetamida en medio fuerte alcalino, a altas temperaturas.

#### 3.5.1. Característica de la Quitosana

Este polisacárido es lineal con enlaces  $\beta$ - (1-4) glucosamino (unidades desacetiladas) y N-acetil-D-glucosamino (unidades acetiladas) distribuidos de forma aleatoria. La protonación de grupos amino dan propiedades catiónicas a la quitosana esto es debido a la solubilidad en la mayoría de las diluciones ácidas orgánicas e inorgánicas. De acuerdo a su condición de polímero catiónico natural la quitosana tiende a formar complejos como se muestra en la Figura 3.2.



**Figura 3.2** Estructura Molecular de la Quitosana.

*Fuente: Kumar, 2000.*

La quitosana es un polielectrólito de alto peso molecular aproximadamente 106 g/mol (Muzzarelli, 1977), biodegradable y no tóxico (Tabla 3.2).

**Tabla 3.2** Comparación de las Características y Aplicaciones de la Quitosana.

<b>Principales Características</b>	<b>Aplicaciones Potenciales</b>
No tóxico	Reducción de la turbiedad en los efluentes de procesos
Biodegradable	Coagulante de sólidos suspendidos, minerales y suspensiones orgánicas
Recurso renovable	Floculante de suspensiones bacteriales
Amistoso con el ambiente	Interacciona con moléculas de carga negativa
Eficiente contra los virus y bacterias	Se pueden recuperar los productos valiosos (como las proteínas)
Forma sales con ácidos orgánicos e inorgánicos	Es un quelante de iones metálicos
Forma puentes de hidrógeno intermoleculares	Reducción de olores
Habilidad para encapsular	Remoción de tintes por adsorción
Floculante para clarificar el agua (agua potable)	Tratamiento de lodos

*Fuente: Renault et al, 2009.*

### 3.5.2. Capacidad de Adsorción de la Quitosana

La capacidad y la velocidad de adsorción de la quitosana dependen si ésta se encuentra en polvo, en hojuela o en forma de película (Peniche, 2006). La temperatura, la velocidad de agitación, el tiempo de contacto de la quitosana con la solución de la NOM, el grado de cristalización de la quitosana y el grado de acetilación influyen sobre la capacidad de adsorción del polímero.

La elevada capacidad de adsorción de NOM que presenta la quitosana resulta de interés para diversas aplicaciones como por ejemplo en la potabilización de aguas

superficiales para reducir la formación de los sub-productos de la desinfección (DBPs), así como también en la cromatografía inorgánica o como soporte de catalizadores, entre otras (Peniche, 2006).

### 3.6. Modelos de Adsorción

La adsorción es usualmente descrita por isotermas, las cuales muestran como el soluto puede ser adsorbido por el adsorbente a temperaturas dadas.

#### Isotermas de Adsorción

La adsorptividad de un sistema en particular es descrita por expresiones empíricas llamadas isotermas, que relacionan la masa de soluto adsorbido por unidad de masa de adsorbente a la concentración de soluto que permanece después de la adsorción. Existen varios modelos que son válidos para describir el proceso de adsorción (Gerente et al., 2007), entre estos modelos se encuentra:

- Forma lineal de Freundlich y Langmuir
- Forma no lineal de Langmuir-Freundlich
- Modelos de Isotermas de Redlich-Peterson

En los experimentos de la presente investigación, el sistema se formó por la quitosana que es el adsorbente y el adsorbato que fue la materia orgánica natural presente en las aguas naturales de las fuentes de las plantas potabilizadoras o el agua preparada en el laboratorio con ácido húmico.

La isoterma de Freundlich (Ecuación 3.3) es usada por sorción no lineal en superficies heterogéneas así como en sorción en multicapas.

$$q_e = a_F C_{eq}^{b_F} \quad (3.3)$$

Dónde:

$q_e$  es la capacidad de adsorción en  $\frac{mg}{g}$

$a_F$  y  $b_F$  son las constante isotérmicas de Freundlich  $(mg^{1-b_F} L^{b_F} \frac{1}{g})$  y los exponente son adimensionales respectivamente

$C_{eq}$  es la concentración de la materia orgánica natural medida como DOC en el equilibrio en  $\frac{mg}{L}$

La isoterma de Langmuir es utilizada para concentraciones altas de adsorbato, (Ecuación 3.4) ya que predice la constante monocapa  $q_{e,max}$  que muestra la capacidad máxima de adsorción en  $\frac{mg}{g}$ ,  $b$  es la constante de Langmuir en  $\frac{L}{mg}$ .

$$q_e = \frac{q_{e,max} b C_{eq}}{1 + b C_{eq}} \quad (3.4)$$

La forma isotérmica no lineal Langmuir-Freundlich (Ecuación 3.5) describe el caso de molécula ocupando dos sitios:

$$q_e = \frac{K_{LF} C_{eq}^{n_{LF}}}{1 + a_{LF} C_{eq}^{n_{LF}}} \quad (3.5)$$

Dónde:

$K_{LF}$  es la constante isotérmica de Langmuir-Freundlich  $(mg^{1-n_{LF}} L^{3n_{LF}} \frac{1}{g})$

$a_{LF}$  es la constante isotérmica de Langmuir-Freundlich  $(\frac{L}{mg})^{n_{LF}}$

$n_{LF}$  es el exponente adimensional de la isoterma de Langmuir-Freundlich

La isoterma de Redlich-Peterson (Ecuación 3.6) puede ser aplicada para adsorbentes heterogéneos y puede funcionar para más de un mecanismo:

$$q_e = \frac{K_R C_{eq}}{1 + a_R C_{eq}^{b_R}} \quad (3.6)$$

Dónde:

$K_R$  (L/g) y  $a_R$  (L/mg) <sup>$b_R$</sup>  son las constantes de la isoterma de Redlich-Peterson  
 $b_R$  es un exponente adimensional con valores entre 0 y 1

### 3.7. Capacidad de Adsorción

El carbón orgánico disuelto presente en las aguas naturales de las fuentes de aguas crudas ó en las soluciones de ácido húmico se adsorbió por unidad másica de la quitosana  $q_t$  en el tiempo  $t$  y se calculó con la siguiente ecuación:

$$q_t = \frac{(C_o - C_t)V}{w} \quad (3.7)$$

Dónde:

$q_t$  es la capacidad adsorbente  $\left(\frac{mg}{g}\right)$  en el tiempo  $t$

$C_o$  es la concentración de carbono orgánico disuelto en  $\left(\frac{mg}{L}\right)$

$C_t$  es la concentración en el tiempo  $t$  en  $\left(\frac{mg}{L}\right)$

$V$  es el volumen de la solución (L)

$w$  es el peso de la quitosana (g)



### 3.8. Cinética de Adsorción

Para determinar el mecanismo de adsorción y la velocidad que controla la adsorción en la transferencia de masa y en los procesos de reacciones químicas, se utilizó los modelos cinéticos de primer y segundo orden irreversible y los de pseudo primer y segundo orden irreversible (Gerente et al., 2007).

#### 3.8.1. Primer Orden

El orden una reacción se refiere a las potencias a las que las concentraciones se elevan en la ley de velocidad cinética como se muestra en la Ecuación 3.9 si sigue el modelo de la Ecuación 3.8.



La ley de velocidad cinética de la Ecuación 3.8 con que desaparece de A por medio de la reacción irreversible elemental es:

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^\alpha \quad (3.9)$$

Dónde:

$r_A$  es la velocidad de desaparición de A

$\frac{dC_A}{dt}$  es la variación de la concentración de A con respecto al tiempo (t)

$C_A$  es la concentración de la especie química A

$k$  expresada en  $s^{-1}$ , es la constante de la velocidad de reacción y es independiente de las concentraciones

$\alpha$  es el orden de reacción (primer orden)

De la Ecuación 3.9, se dice que la velocidad es de primer orden con respecto al reactante A, debido que la reacción es elemental y ésta toma el coeficiente estequiométrico de la especie química A, quedando de la siguiente manera:

$$-\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A^\alpha \quad (3.10)$$

Dónde:

$k_1$  es la constante de la velocidad de la reacción de primer orden

$C_A$  es la concentración de A

$\alpha$  es de primer orden con respecto a A, cuando  $\alpha = 1$

Para la concentración de A en un tiempo  $t$  igualando en un tiempo  $t_0$  la ecuación queda de la siguiente manera:  $C_A = C_{A0}$ .

Integrando la Ecuación 3.10, si la condición inicial es  $C_A = C_{A0}$ :

$$-\ln \frac{C_A}{(C_A)_0} = K_1 t \quad (3.11)$$

La Ecuación 3.11 muestra la relación lineal que existe entre  $-\ln \frac{C_A}{(C_A)_0}$  y  $t$  cuando la velocidad de reacción es de primer orden (Smith, 1991).

### 3.8.2. Segundo Orden

Para una velocidad de segundo orden existen dos tipos reacciones de velocidad elementales como se muestra a continuación:



La velocidad de desaparición de  $A$  por medio de la reacción irreversible elemental es:

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_2 C_A^\alpha \quad (3.13)$$

Dónde:

$r_A$  es la velocidad de desaparición con respecto a la especie química  $A$

$\frac{dC_A}{dt}$  es la variación de la concentración de  $A$  con respecto al tiempo ( $t$ )

$k_2$  es la constante de la velocidad de reacción de segundo orden en  $\frac{(dm)^3}{mol \times s}$

$C_A$  es la concentración de  $A$

$\alpha$  indica que la velocidad de reacción es de segundo orden con respecto a  $A$   
( $\alpha = 2$ )

Integrando la Ecuación 3.13:

$$\left( \frac{1}{C_A} - \frac{1}{(C_A)_0} \right) = k_2 t \quad (3.14)$$



El mecanismo que controla la velocidad de reacción en la Ecuación 3.15, implica la colisión o interacción de una sola molécula de  $A$  con una sola molécula de  $B$  (Levenspiel, 1987), entonces la ley de velocidad con respecto a la especie química  $A$  de la Ecuación 3.15 está dada de la siguiente manera:

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_2 C_A C_B \quad (3.16)$$

Dónde:

$k_2$  es la constante de la velocidad de segundo orden

$C_A$  es la concentración de A

$C_B$  es la concentración de B

Integrando la Ecuación 3.16 (Levenspiel, 1987) se obtiene:

$$\text{Ln} \frac{C_B(C_A)_0}{(C_B)_0 C_A} = K_2 t \quad (3.17)$$

### 3.8.3. Pseudo-Primer-Orden

Para el modelo pseudo-primer-orden irreversible de Lagergren, la ecuación se describe a continuación y debe de integrarse aplicando la condiciones límites de  $t = 0$  hasta  $t = t$  y;  $q_t = 0$  hasta  $q_t = q_t$ .

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (3.18)$$

Dónde  $q_e$  y  $q_t$  son las capacidades de adsorción  $\frac{mg}{g}$  para el equilibrio y para el tiempo  $t$  respectivamente,  $k_1$  es la constante de la reacción de primer orden  $\frac{1}{min}$ .

Integrando la Ecuación 3.18 según las condiciones de límites, queda la siguiente ecuación lineal:

$$q_t = q_e - \frac{q_e}{10^{2.303} k_1 t} \quad (3.19)$$

### 3.8.4. Pseudo-Segundo-Orden

La siguiente ecuación representa el modelo de pseudo segundo-orden (Gerente et al., 2007):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q)^2 \quad (3.20)$$

Donde  $k_2$  es la constante de segundo orden  $\left(\frac{g}{mg-min}\right)$  integrando la Ecuación 3.20:

$$q_t = \frac{t}{\frac{1}{q_e} \left( \frac{1}{k_2 q_e} + t \right)} \quad (3.21)$$

La cinética de Pseudo-segundo-orden involucra las fuerzas de valencias a través del intercambio de electrón entre los grupos positivos del adsorbente y la carga negativa de la NOM (Septum et al., 2007).

### 3.9. Tratamiento de Desinfección para Potabilizar Agua Cruda

La presencia de la materia orgánica natural en el agua (NOM) está asociada con un número de problemas entre los cuales se encuentra: sabor indeseable, olor y color en el agua potable, también contribuye a la formación de productos perjudiciales a la salud (especialmente trihalometanos) en la cloración (Siyanytsya et al., 2007). El ácido húmico constituye la mayor parte de NOM por lo tanto ésta sustancia debe ser eliminada antes de entrar a la etapa de desinfección.

Generalmente los métodos para remover el ácido húmico puede ser por: adsorción u ozonización, pero no siempre estos métodos son suficientes para que el agua potable cumpla con los estándares de calidad (Siyanytsya et al., 2007).

En el proceso de desinfección, se requiere de grandes dosis de cloro, provocando la formación de los sub-productos de la desinfección (DBPs) entre los cuales se encuentran los trihalometanos, ácidos haloacéticos y cloroformo. La concentración de los DBPS depende de:

- Concentración de materia orgánica natural
- Dosis de cloro
- Tiempo de contacto
- pH
- Temperatura
- Concentración de nitrógeno orgánico

### **3.9.1. Métodos de Control y Reducción de los Trihalometanos**

Las dos estrategias posibles en el control de los subproductos de la desinfección son la eliminación previa de los precursores (principalmente NOM) y la eliminación de los sub-productos de la desinfección (DBPs) una vez formados.

#### **a. Eliminación de Precursores de los Sub-productos de la Desinfección (DBPs)**

Para prevenir el incremento o hacer una previa eliminación de los DBPs se deben de tomar ciertas medidas como:

- Control en Origen (ríos, embalses)

Uno de los factores más influyentes en el transporte de NOM por el agua, es la capacidad de adsorción de los suelos que están en contacto; ésta puede verse incrementada añadiendo materiales adsorbentes como cal o hidróxido de aluminio.

- Eliminación Físico-química

Las técnicas más usuales son la coagulación, adsorción y filtración por membranas. Los mayores rendimientos en eliminación de materia orgánica (NOM) se logran con el uso de membranas (> 95%), pero el proceso es muy caro, además de generarse un residuo muy concentrado de materia orgánica (NOM) de difícil tratamiento. La coagulación es una de las técnicas más sencillas utilizadas en las plantas de tratamiento, su rendimiento puede verse incrementado mediante diversas estrategias, como incrementar la dosis del coagulante, disminuir el pH de la coagulación o el uso de nuevos coagulantes; sin embargo, estas variaciones pueden tener un efecto perjudicial, como el incremento del coagulante residual en el agua tratada.

- Oxidación de la Materia Orgánica Natural (NOM)

La oxidación puede colaborar a la eliminación de NOM de cuatro maneras distintas:

- Inactivación de los precursores de los sub-productos de la desinfección (DBPs)
- Oxidación parcial de la NOM
- Oxidación total de la materia orgánica (NOM) hasta CO<sub>2</sub> (poco frecuente en las condiciones típicas de tratamiento; solo contribuye en un 10-20%)
- Incremento de la eficacia del proceso de coagulación e incremento de la biodegradabilidad de la materia orgánica (NOM).

**b. Eliminación de los Sub-productos de la desinfección (DBPs) una vez Formados**

Las investigaciones se han centrado en la eliminación de los trihalometanos (THM) clorados; la USEPA (1998) propone dos técnicas para su eliminación: La aireación (air stripping) y la adsorción sobre carbón activado granular. Los

inconvenientes que presentan dichas técnicas son que la aireación sólo elimina los sub-productos de la desinfección (DBPs) volátiles (los no volátiles, como los ácidos halo acéticos, permanecen) y la adsorción con carbón activado granular (GAC) presentan bajos rendimientos para los THMs.

### **3.9.2. Efectos en la Salud (DBPs)**

Los efectos a la salud asociados con los sub-productos de la desinfección (DBPs) incluyen efectos como el cáncer, problemas en el desarrollo mental, daños al sistema reproductivo, y efectos neurotóxicos e inmunotóxicos (Barret et al., 2000). Estudios epidemiológicos reportan que individuos consumidores de agua clorada tienen de alguna forma un riesgo elevado de obtener cáncer rectal, del riñón y vejiga, a diferencia de aquellos que no la consumen (Barret et al., 2000).



## **IV. Diseño Metodológico**

En este capítulo se presenta la metodología utilizada en este trabajo investigativo. Se describe el tipo y muestra de estudio la cual consistió de agua natural y agua preparada en el laboratorio. Así mismo se presentan los procedimientos que se emplearon para cumplir con los objetivos propuestos.

### **4.1. Método de Investigación**

La presente investigación consistió en un estudio a escala de laboratorio para determinar la adsorción de la materia orgánica presente en el agua cruda proveniente de las plantas potabilizadoras de Boaco, Juigalpa y Ocotal.

Además, se efectuó un estudio de la adsorción usando agua preparada en el laboratorio con ácido húmico el cual es un componente de la materia orgánica natural. Ambos tipos de experimentos se llevaron a cabo usando quitosana de bajo, medio y alto peso molecular, así como también variando el pH de 4 a 8 ajustándolo con NaOH y HCl de 0.1 M, también se consideró agregar NaCl para simular la fuerza iónica de las aguas naturales en los experimentos de ácido húmico variando la concentración de 0.00 M, 0.01 M y 0.05 M de NaCl.

El método que se utilizó es del tipo cuantitativo ya que permitió analizar e identificar las cantidades adsorbidas de ácido húmico.

### **4.2. Tipo de Investigación**

Según el nivel de profundidad y orientación en el tiempo, la presente investigación se define como descriptiva y transversal, ya que se determinó la capacidad de adsorción de la quitosana usando agua naturales y aguas preparadas en el

laboratorio, se determinó la capacidad de adsorción al tiempo  $t$  ( $q_t$ ) y en el equilibrio ( $q_e$ ).

#### **4.3. Universo**

Se definió como universo de estudio el Río Fonseca, el Lago Cocibolca, y Río Dipilto como fuente de abastecimiento de la planta potabilizadora de Boaco, Juigalpa y Ocotol respectivamente. Así como, el agua preparada en el laboratorio con ácido húmico a diferentes concentraciones y fuerza iónica.

#### **4.4. Muestra**

Se trabajó con dos tipos de muestras, el primer tipo de muestra consistió en agua de las plantas potabilizadoras de Boaco, Juigalpa y Ocotol sin haber sido tratada, para determinar la capacidad de la quitosana como adsorbente de la materia orgánica natural. Las muestras de agua fueron tomadas en bidones de plástico de 5 galones de capacidad, previamente esterilizados y rotulados que se preservaron a temperatura ambiente, y luego se transportaron hacia el laboratorio donde se realizaron los análisis correspondientes.

El segundo tipo de muestra se preparó en el laboratorio con agua desionizada y utilizando ácido húmico en concentraciones de 10 mg/L a 50 mg/L y NaCl a 0.00 M, 0.01M y 0.05 M

#### **4.5. Herramientas de Recolección de Datos**

A continuación se presentan los instrumentos diseñados donde se recopiló la información de esta investigación.

#### **4.5.1. Recopilación de Información**

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva que permitió tener una perspectiva completa acerca de las variables y los objetivos considerados en la investigación. Se tuvo presente toda la información actual generada referente al tema, sus antecedentes, definiciones, entre otros. También permitió explicar la importancia del problema de estudio y sus aportes a la sociedad.

#### **4.5.2. Ficha de Campo**

La ficha de campo permitió registrar la información recolectada en el momento de la toma de muestras (Anexo A.1).

#### **4.5.3. Ficha de Laboratorio**

Las fichas de Laboratorio recopilaron los datos que se obtuvieron en los análisis realizados en el laboratorio para su debido procesamiento (Anexos A.2, A.3 y A.4).

#### **4.6. Diseño de Experimento**

El diseño de experimento para el presente trabajo se realizó con ayuda del software Statgraphics Plus 4.1, en el cual se seleccionó el tipo de diseño multifactorial categórico por ser el más indicado al querer estudiar el efecto de cuatros factores categóricos a la vez. En la Tabla 4.1 se muestra el diseño experimental.

**Tabla 4.1** Diseño Base.

<b>Diseño Base</b>	
Número de factores experimentales	4
Número de respuestas	2
Número de corridas	225
Grados de libertad para el error	160

Los factores y las variables de respuesta se detallan en la Tabla 4.2 y 4.3 respectivamente. El número de corridas se detalla en el Anexo A.5.

**Tabla 4.2** Factores en Estudio.

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>	<b>Unidades</b>
Peso moleculares de la quitosana (bajo, medio y alto)	3	-
Concentración del ácido húmico (10, 20, 30, 40, 50)	5	mg/L
Fuerza Iónica de NaCl (0.00, 0.01, 0.05)	3	M
pH (4, 5, 6, 7, 8)	5	-

**Tabla 4.3** Variables Respuestas.

<b>Respuestas</b>	<b>Unidades</b>
UV <sub>254</sub>	cm <sup>-1</sup>
DOC	mg/L

#### **4.7. Cinética y Equilibrio de Adsorción de la Materia Orgánica Natural en la Quitosana**

Para llevar a cabo esta investigación a escala de laboratorio se tomaron tres litros de agua cruda de las diferentes plantas potabilizadoras previamente mencionadas. Los tres litros se dividieron en muestras de 0.6 L, los cuales se filtraron con papel Whatman de 47  $\mu\text{m}$ ; posteriormente se ajustó el pH a 4, 5, 6, 7 y 8 con HCl o NaOH 0.1 M. Los 0.6 L se dividieron en alícuotas de 0.2 L cada una, a las cuales se les adicionó 0.2 g de quitosana de bajo, medio y alto peso molecular respectivamente. Resultando un total de 15 muestras por planta potabilizadora para cubrir todo el rango de pH evaluado.

Cada cierto intervalo de tiempo se tomó muestras en volúmenes de 10 mL, las cuales se filtraron con papel Whatman 47  $\mu\text{m}$  para medir DOC y  $UV_{254}$ . El experimento terminó cuando la concentración de DOC fue constante.

Para conocer mejor la capacidad de adsorción de la quitosana sin la influencia de otros iones en solución, se realizó experimentos usando agua preparada en el laboratorio con concentraciones de ácido húmico el cual representa a la materia orgánica. Se varió las concentraciones de 10 a 50 mg/L para tomar en consideración el rango de materia orgánica presente en las aguas naturales el cual es de 2 a 15 mg/L de DOC (Hepplewhite et al., 2004). De acuerdo a Thurman y Malcolm (1981), el valor de DOC en la solución de ácido húmico debe ser un tercio o la mitad de la concentración de ácido húmico usada para preparar la solución.

Las soluciones de ácido húmico se prepararon pesando la concentraciones deseadas y después disolviendo en 100 mL de agua desionizada, posteriormente se diluyeron en 3 litros de agua desionizada, se simuló la fuerza iónica utilizando NaCl de concentraciones 0.00 M, 0.01 M y 0.05 M. A continuación se ajustó el pH

a 4, 5, 6, 7 y 8 tomando volúmenes de 0.6 L. Luego se subdividieron el volumen de cada pH en alícuotas de 0.2 L a las cuales se les adicionó 0.2 g de quitosana de bajo, medio y alto peso molecular. Cuando la concentración de DOC fue constante se detuvieron los experimentos.

#### 4.8. Variables a Estudiar

La Tabla 4.4 presenta la lista de variables y métodos que se determinaron en el agua cruda.

**Tabla 4.4** Variables y Métodos.

Variable	Lugar de Medición	Método	Anexo
Color	Laboratorio	“APHA” Platino-Cobalto estándar	H.1
pH	Laboratorio	Electrometría	H.2
Carbón Orgánico Disuelto(DOC)	Laboratorio	HACH 10129	H.3
Absorbancia Ultravioleta (UV <sub>254</sub> )	Laboratorio	HACH 10054	H.4
Absorbancia Específica Ultravioleta (SUVA)	Laboratorio	$SUVA = \frac{UV_{254} (cm^{-1})}{DOC (mg/L)}$	-

#### 4.9. Procesamiento y Análisis de la Información

Una vez obtenidos los valores de estudio medidos a diferentes pesos moleculares de quitosana, fuerza iónica y pH se calculó la adsorción de DOC en las aguas naturales y en el agua de laboratorio con las siguientes ecuaciones:

**Cinética a Tiempo  $t$ .**

$$q_t = \frac{(C_o - C_t)V}{w} \quad (4.1)$$

Dónde:

$q_t \left(\frac{mg}{g}\right)$  es la capacidad adsorbente de la quitosana en el tiempo  $t$

$C_o$  es la concentración de carbono orgánico disuelto inicial  $\left(\frac{mg}{L}\right)$

$C_t$  es la concentración de carbono orgánico disuelto en el tiempo  $t \left(\frac{mg}{L}\right)$

$V$  es el volumen de la muestra de agua natural o de la solución de ácido húmico (L)

$w$  es el peso de la quitosana (g)

Para determinar el modelo cinético, se hizo uso del programa MATLAB, quien arrojo para cada concentración de carbono orgánico disuelto (DOC) valores de “f”, “q” y “ $K_1$ ” para el modelo pseudo-primero orden y valores de “f”, “q” y “ $K_2$ ” para el modelo pseudo-segundo orden. Donde “f” representa la minimización, entre más cercano a cero sea el valor de “f” mejor se ajusta el modelo cinético, “ $K_1$ ” y “ $K_2$ ” representan la constante cinetica pseudo-primero y pseudo-segundo orden respectivamente y “q” representa la capacidad de adsorción ajustada al modelo cinético de pseudo-primero orden o de pseudo-segundo orden.

**Equilibrio de Adsorción:**

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{w} \quad (4.2)$$

Dónde:

$q_e$  es la capacidad adsorbente de la quitosana en el equilibrio  $\left(\frac{mg}{g}\right)$

$C_o$  es la concentración de carbono orgánico disuelto inicial  $\left(\frac{mg}{L}\right)$

$C_e$  es la concentración de carbono orgánico disuelto en el equilibrio  $\left(\frac{mg}{L}\right)$

$V$  es el volumen de la muestra de agua natural o de la solución de ácido húmico  
(L)

$w$  es el peso de la quitosana (g)



## V. Discusión y Resultados

Los resultados obtenidos en el presente estudio son presentados y discutidos en este capítulo.

### 5.1. Caracterización del Agua Cruda

La Tabla 5.1 muestra los resultados de la caracterización del agua cruda que abastecen a tres fuentes potabilizadoras de agua.

**Tabla 5.1** Caracterización del Agua Cruda.

<b>Agua Cruda</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Boaco</b>	<b>Juigalpa</b>	<b>Ocotal</b>
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0.17	0.14	0.18
DOC (mg/L)	2.3	2.0	2.5
SUVA (L/mg-m)	7.4	7.0	7.2
Color (mg/L Pt-Co)	74.0	43.0	139.0
Color Específico (mg C/mg C)	32.2	21.5	55.6
pH	7.7	7.5	7.8

Como puede observarse en la Tabla 5.1, el agua cruda de las tres fuentes potabilizadoras muestran valores de materia orgánica medidas como: UV<sub>254</sub>, DOC, SUVA, color y color específico muy diferentes; lo cual se debe a que en las cuencas respectivas entran distintos tipos de contaminantes, también el tipo de suelo, la vegetación y el sitio de captación influyen en la materia orgánica presente en ríos y lagos lo que hace que la calidad del agua no sea la misma en cada fuente abastecedora.

Así mismo puede decirse que las fuentes que se abastecen de río (Boaco y Ocotal) exhiben valores de materia orgánica más alto que la fuente que abastece del lago de Nicaragua (Juigalpa), cabe destacar que las muestras de aguas de las tres fuentes potabilizadoras fueron tomadas en época lluviosa, por lo existe una estrecha relación entre la intensidad de la lluvia y el contenido de materia orgánica. Según los valores de NOM mostrados en la Tabla 5.1 se puede decir que la escorrentía introdujo en las fuentes que se abastecen de río un alto contenido de material orgánico como taninos provenientes de la capa superior de los suelos.

La aromaticidad de la materia orgánica medida como absorbancia ultravioleta ( $UV_{254}$ ) fue de 0.14 a 0.18  $cm^{-1}$  como se muestra en la Tabla 5.1, encontrándose el menor valor de contenido aromático en la fuente que se abastece del lago de Nicaragua (Juigalpa) y para las fuentes que se abastecen de los ríos presentó valores más alto de contenido aromático, esto quiere decir que las aguas que presentan un alto contenido aromático tienden a formar mayor cantidad de subproductos de la desinfección (DBPs) al reaccionar con el cloro en el proceso de la desinfección,

Hepplewhite et al. (2004) ha reportado la concentración de carbono orgánico disuelto (DOC) en el rango de 2.0 a 15.0 mg/L para aguas en climas tropicales. Los valores de DOC encontrados en las tres fuentes están más próximos al límite inferior del rango reportado por Hepplewhite et al. (2004) esto indica que el contenido de material orgánico disuelto es un poco bajo.

Los valores de la absorbancia específica ultravioleta (SUVA) en las tres fuentes potabilizadoras presentan valores mayores a 4 L/mg-m, lo que señala que tanto en las fuentes que se abastecen de río (Boaco y Ocotal) así como también la fuente que se abastece del lago de Nicaragua (Juigalpa) tienen presencia de materia orgánica del tipo hidrofóbica, de alto peso molecular y más aromática (Edzwald y

Tobianson, 1999); pero debido a su baja solubilidad en el agua su remoción es más fácil. Sin embargo, una parte de esta materia no se logra disminuir y reacciona con el cloro en el proceso de desinfección dando origen a la formación de los subproductos de la desinfección (DBPs) como trihalometanos (THMs).

El color sirve como indicador del grado de conjugación entre las moléculas complejas de materia orgánica natural (NOM) que tiene múltiples enlaces con grupos aromáticos altamente sustituidos. El color se relaciona con moléculas de NOM de alto peso molecular (Newcombe et al., 1997), por lo que se puede observar que el valor más alto presentado en la Tabla 5.1 es de las fuentes que se abastecen de río (Boaco y Ocotal), lo cual indica la presencia de material orgánica de alto peso molecular introducidos a las fuentes de abastecimientos por las escorrentías que arrastran la capa superior de los suelos.

El color específico indica el grado de conjugación, según la Tabla 5.1 los valores que presentan las aguas que se abastecen del lago de Nicaragua (Juigalpa) presenta un menor valor en comparación con las aguas que se abastecen de los ríos (Boaco y Ocotal), esto indica que estas fuentes que abastecen a las plantas potabilizadora de Boaco y Ocotal tienen un alto grado de conjugación.

Los valores de pH de las tres fuentes de aguas que se abastecen tanto de ríos (Boaco y Juigalpa) así como también el agua que del lago de Nicaragua (Juigalpa) se encuentran dentro del rango de pH de 6.5 a 8.0 reportado por ANZECC, (2000) para ríos y lagos. Los pH no variaron significativamente entre las aguas que provienen de los ríos y de la que proviene del lago de Nicaragua.

La diferencia encontrada entre los valores de los parámetros medidos en fuentes que se abastecen del Lago de Nicaragua, se debe a que el contenido de materia orgánica se dispersa por el mezclado de las aguas presentando valores de concentración de materia orgánica ligeramente baja, mientras que las

concentraciones más altas son encontradas en las fuentes que se abastecen de ríos debido a los resultados de eventos lluviosos. Otra posible explicación es que la producción interna de NOM en el lago de Nicaragua es menor en el punto de captación debido a que la concentración de nutrientes es muy baja ya que no hay contaminación de origen doméstico o industrial.

## 5.2. Cinética de Adsorción de las Aguas Naturales

A continuación se muestran los resultados de cinética obtenidos de las tres fuentes potabilizadoras.

### 5.2.1. Modelos Cinéticos de las Aguas Naturales

La Tabla 5.2, 5.3 y 5.4 muestran los parámetros que se ajustan a los modelos cinéticos (pseudo-primer-orden y pseudo-segundo-orden) de las aguas provenientes de las tres fuentes de potabilización a diferentes pH y pesos moleculares de quitosana (bajo, medio y alto).

**Tabla 5.2** Modelo Cinético, Boaco.

PM	pH	Boaco (DOC 2.30 mg/L)					
		Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden		
		f	q	K <sub>1</sub>	f	q	K <sub>2</sub>
Bajo	4	0.014	2.020	0.963	0.011	2.013	2.630
	5	0.020	1.873	0.707	0.015	1.902	1.093
	6	0.089	1.507	0.723	0.080	1.534	1.230
	7	0.587	2.750	0.014	0.112	1.360	0.306
	8	0.521	3.684	0.007	0.080	1.142	0.397
Medio	4	0.010	2.160	0.812	0.007	2.182	1.371
	5	0.640	2.187	0.214	0.015	1.862	0.803
	6	0.834	1.912	0.029	0.107	1.459	0.495
	7	0.834	1.912	0.029	0.107	1.459	0.495
	8	0.271	3.883	0.008	0.088	1.676	0.049
Alto	4	0.021	2.151	1.144	0.019	2.161	3.534
	5	0.065	2.140	0.544	0.048	2.199	0.514
	6	0.051	1.744	0.712	0.044	1.773	1.134
	7	0.096	1.433	0.547	0.082	1.481	0.679
	8	0.358	1.519	0.743	0.337	1.505	1.406

**Tabla 5.3** Modelo Cinético, Juigalpa.

PM	pH	Juigalpa (DOC 2.00 mg/L)					
		Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden		
		f	q	$K_1$	f	q	$K_2$
Bajo	4	0.018	1.630	0.536	0.000	1.707	0.518
	5	0.013	1.610	0.491	0.000	1.686	0.467
	6	0.082	1.632	0.458	0.029	1.705	0.436
	7	0.005	1.642	0.492	0.003	1.709	0.457
	8	0.001	1.234	0.085	0.001	1.572	0.046
Medio	4	0.007	1.859	0.631	0.003	1.945	0.565
	5	0.025	1.875	0.269	0.006	1.993	0.179
	6	0.033	1.756	0.246	0.013	1.874	0.170
	7	0.023	1.469	0.330	0.005	1.544	0.307
	8	0.025	1.178	0.421	0.006	1.231	0.537
Alto	4	0.002	1.891	1.360	0.001	1.945	2.026
	5	0.006	1.892	1.377	0.000	1.953	1.949
	6	0.085	1.737	0.974	0.030	1.863	0.891
	7	0.009	1.839	1.328	0.000	1.907	1.788
	8	0.110	1.512	1.933	0.074	1.644	1.691

**Tabla 5.4** Modelo Cinético, Ocotál.

PM	pH	Ocotál (DOC 2.50 mg/L)					
		Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden		
		f	q	$K_1$	f	q	$K_2$
Bajo	4	0.074	2.053	2.050	0.051	2.092	2.470
	5	0.210	1.989	1.573	0.115	2.071	1.206
	6	0.056	1.859	1.244	0.016	1.922	1.124
	7	1.177	2.222	0.319	0.050	1.953	1.953
	8	0.219	1.448	1.340	0.150	1.522	1.239
Medio	4	0.251	2.216	1.998	0.203	2.270	2.084
	5	0.078	2.199	1.746	0.033	2.255	1.619
	6	0.078	2.199	1.746	0.033	2.255	1.619
	7	0.098	1.935	1.595	0.049	1.995	1.500
	8	0.192	1.855	0.921	0.070	1.783	1.241
Alto	4	0.057	2.185	2.414	0.041	2.216	3.408
	5	0.036	2.188	2.217	0.023	2.218	3.027
	6	0.173	1.930	0.618	0.123	2.015	0.472
	7	0.112	2.069	1.455	0.044	2.141	1.186
	8	0.035	2.053	1.728	0.026	2.090	2.008

En las Tablas 5.2, 5.3 y 5.4 el valor de f (minimización) comprueba que el modelo cinético de adsorción sigue el comportamiento de una reacción de pseudo-segundo-orden para las fuentes que se abastecen de los ríos (Boaco y Ocotál)

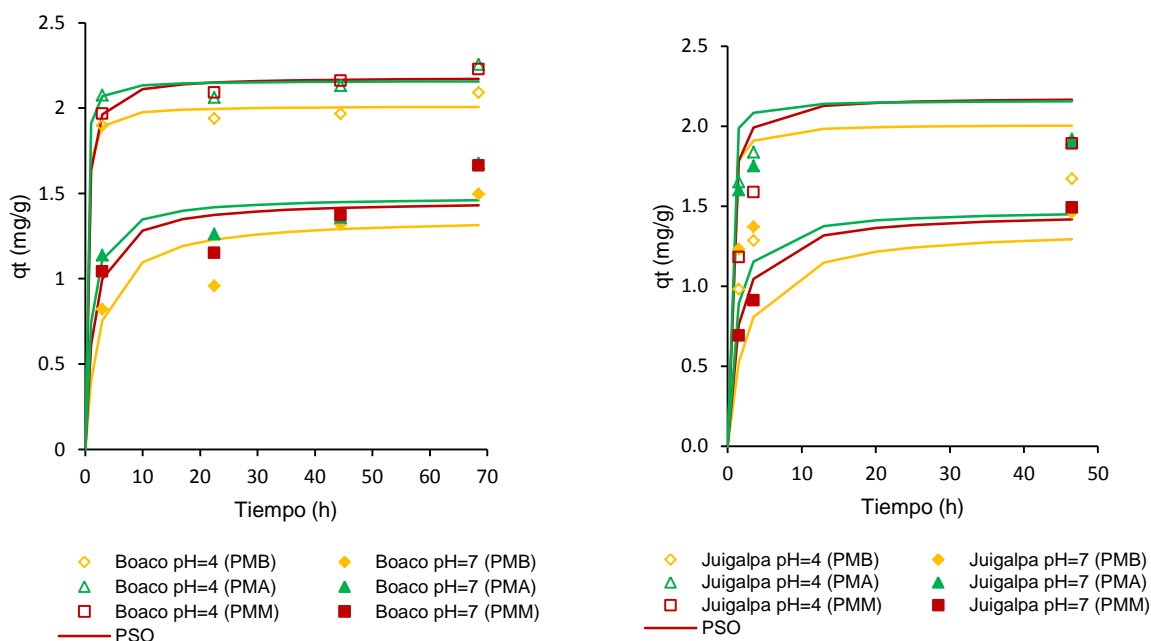
como la que se abastece del lago de Nicaragua (Juigalpa), ya que entre más próximo se encuentren los valores de la minimización (f) a cero, mejor se ajusta el modelo cinético.

El modelo cinético pseudo-segundo-orden asume que la cinética de adsorción se da por las fuerzas de intercambio iónico entre la carga positiva de los grupos amino de la quitosana y la carga negativa de la materia orgánica natural (compuesto húmico) (Sephthum et al., 2007) presente en el agua de las tres fuentes potabilizadoras

Comparando los valores de las capacidades de adsorción de pseudo-primer orden con las de pseudo-segundo orden en las Tablas 5.2, 5.3 y 5.4, (q) se comprueba que la cinética de adsorción del ácido húmico presente en las tres fuentes potabilizadoras es mayor al usar quitosana de alto peso molecular debido a que la quitosana de alto peso molecular tiene una constitución rígida que no cambia sensiblemente haciendo que aumente la capacidad de enlace, por el contrario la quitosana de bajo peso molecular tiene una estructura flexible donde la constitución varía (Davydova et al., 2000).

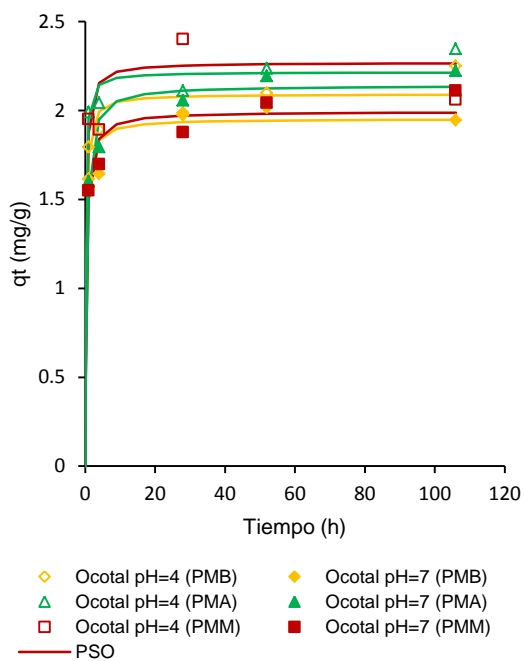
### **5.2.2. Comportamiento de la Cinética de Adsorción, Aguas Naturales**

Las Figuras 5.1, 5.2 y 5.3 muestran la cinética de adsorción siguiendo un modelo de pseudo-segundo-orden a diferentes pH y pesos moleculares de quitosana, usando aguas provenientes de las tres fuentes potabilizadoras.



(a) Boaco.

(b) Juigalpa.



(c) Ocotal.

Figura 5.1 Comportamiento cinético Pseudo Segundo Orden, Agua Cruda

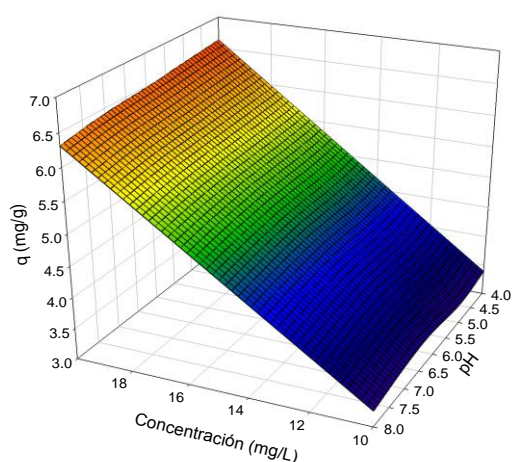
Como se logra observar en las Figuras 5.1, 5.2 y 5.3 la quitosana de alto peso molecular (PMA) y de medio peso molecular (PMM) adsorben mayor cantidad de materia orgánica natural (NOM). Las Figuras 5.1, 5.2 y 5.3 también comparan la influencia del pH en la adsorción, a pH bajo (pH=4) se obtuvo mayor adsorción de NOM en quitosana en comparación al pH alto (pH=7) para todas las fuentes de agua para potabilización.

También se puede observar que el equilibrio cinético varía para las tres fuentes potabilizadoras ya que se alcanza en diferentes tiempos. El agua de Ocotil (Figura 5.3) alcanza el equilibrio en un mayor tiempo en comparación a las aguas de Boaco y Juigalpa (Figuras 5.1 y 5.2), esto es debido a que la fuente que proviene de Ocotil presenta, según los valores obtenidos en Tabla 5.1, mayor carga de materia orgánica natural.

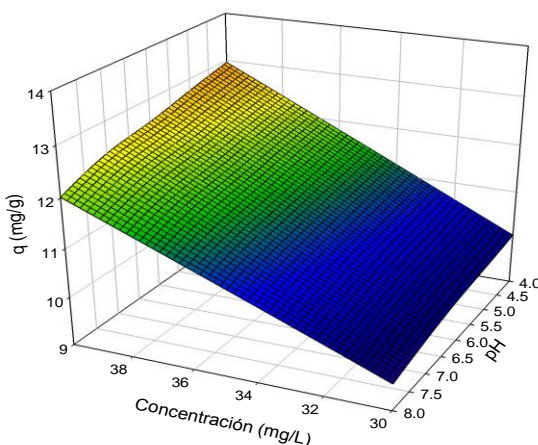
### 5.3. Agua Preparada en Laboratorio

Las Figuras 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9 muestra la influencia que tienen las variables: concentración de ácido húmico, fuerza iónica, pH y quitosana de pesos moleculares diferentes para determinar la capacidad de adsorción.

#### 5.3.1. Concentración-pH

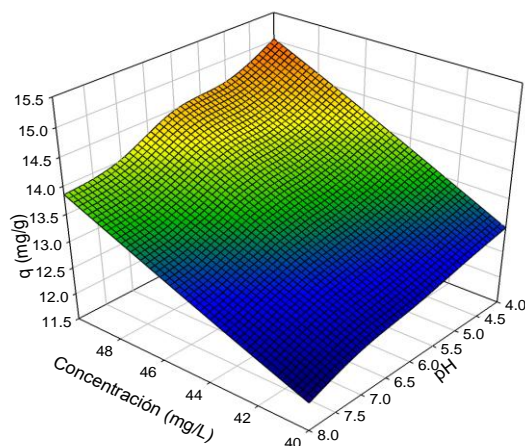


(a) Ácido Húmico 10 mg/L-20 mg/L.



(b) Ácido Húmico 30 mg/L-40 mg/L.



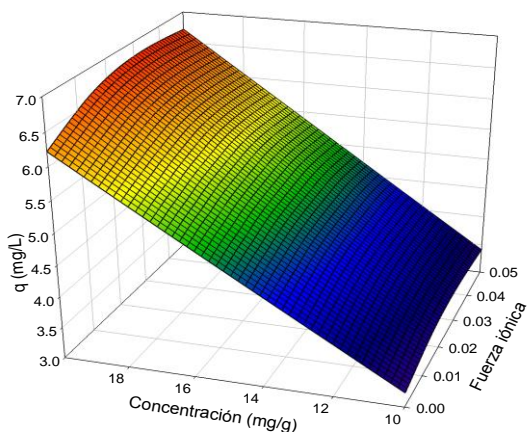


(c) Ácido Húmico 40 mg/L-50 mg/L.

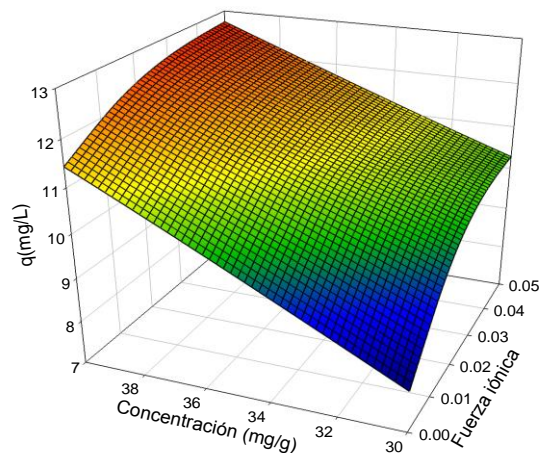
**Figura 5.2** Concentración de Ácido Húmico-pH.

La Figura 5.4a muestra que a concentraciones bajas (10 mg/L) de ácido húmico el pH no tiene ninguna influencia en la capacidad de adsorción. Sin embargo, el pH tiene mucha influencia para concentraciones mayores (> 10 mg/L) de ácido húmico (Figuras 5.4b y 5.4c). Se puede observar que a pH 4 los valores de la capacidad de adsorción ( $q$ ) fueron muchos mayores que a pH 8. De acuerdo a Seira (2008) la influencia que tiene el pH es factor determinante en la adsorción, ya que el pH de la disolución influye en el grado de adsorción, debido que grupos hidroxílicos adsorben de forma bastante fuerte, es por eso que entre mayor la concentración de ácido húmico mayor es la influencia del pH en la adsorción.

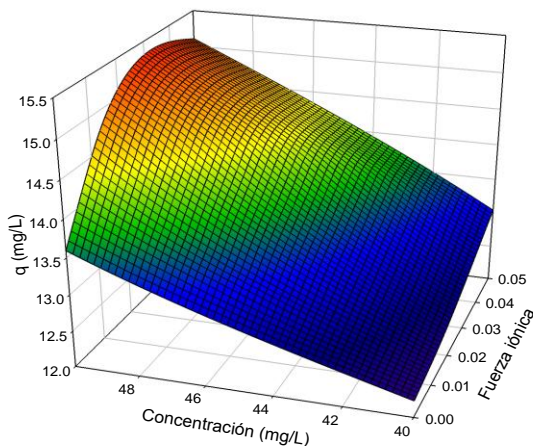
### 5.3.2. Concentración-Fuerza Iónica



(a) Ácido Húmico 10 mg/L-20 mg/L.



(b) Ácido Húmico 30 mg/L-40 mg/L.

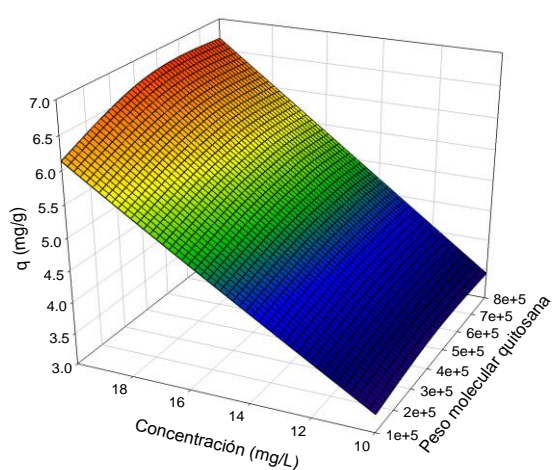


(c) Ácido Húmico 40 mg/L-50 mg/L.

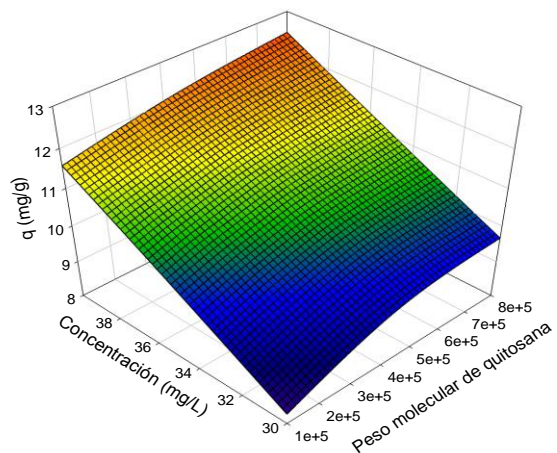
**Figura 5.3** Concentración de Ácido Húmico-Fuerza Iónica.

La Figura 5.5 muestra la influencia de la fuerza iónica con la capacidad de adsorción. La capacidad de adsorción ( $q$ ) que tiene la quitosana aumenta proporcionalmente con la fuerza iónica, ya que al aumentar la fuerza iónica reduce la repulsión de las moléculas húmicas en la superficie del adsorbente, permitiendo la adsorción en la quitosana para todas las concentraciones de ácido húmicos utilizadas.

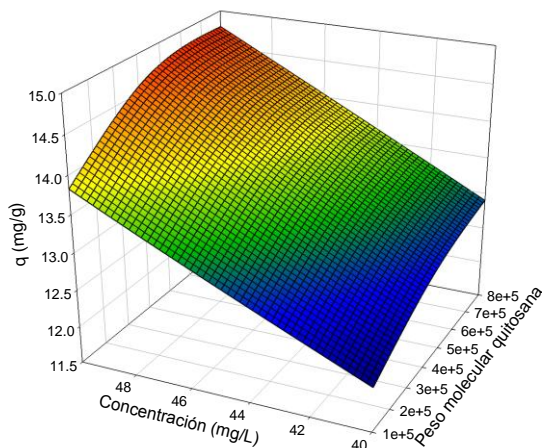
### 5.3.3. Concentración-Peso Molecular de Quitosana



(a) Ácido Húmico 10 mg/L-20 mg/L.



(b) Ácido Húmico 30 mg/L-40 mg/L.

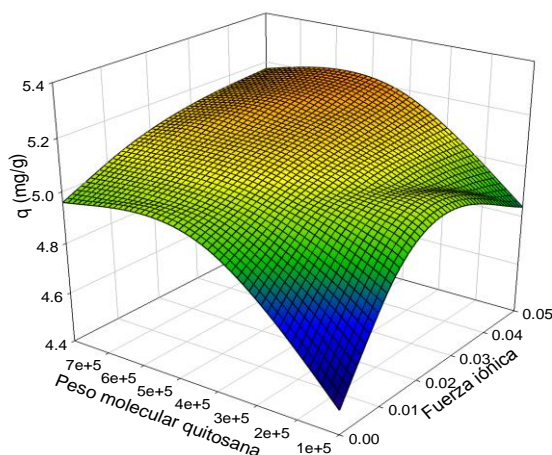


(c) Ácido Húmico 40 mg/L-50 mg/L.

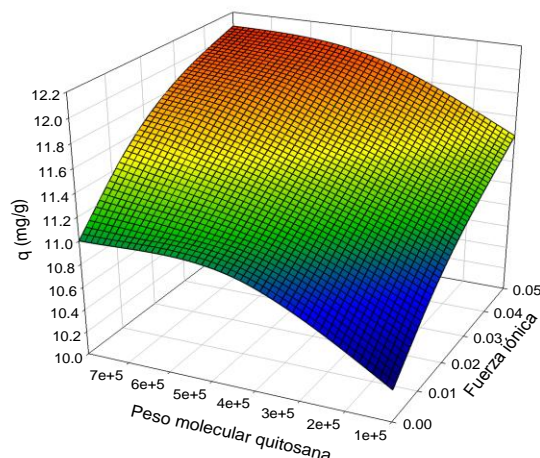
**Figura 5.4** Concentración de Ácido Húmico-Peso Molecular de Quitosana.

La Figura 5.6 muestra que la quitosana de medio y alto peso molecular muestran capacidades de adsorción más altas en comparación con la quitosana de bajo peso molecular independiente de la concentración de ácido húmico. Esto se debe a que para una quitosana de alto peso molecular mayor es el grado de polimerización, lo que indica un mayor contacto entre el adsorbente y el adsorbato.

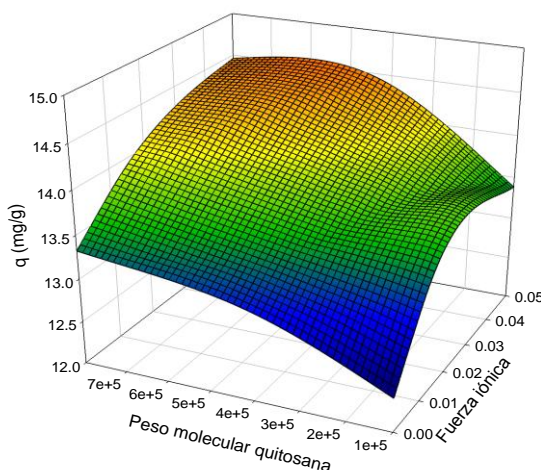
### 5.3.4. Peso Molecular de Quitosana-Fuerza Iónica



(a) Ácido Húmico 10 mg/L-20 mg/L.



(b) Ácido Húmico 30 mg/L-40 mg/L.



(c) Ácido Húmico 40 mg/L-50 mg/L.

**Figura 5.5** Peso Molecular Quitosana-Fuerza Iónica.

La Figura 5.7 pone a la vista la influencia que tienen el peso molecular de quitosana y la fuerza iónica en la capacidad de adsorción, como se puede ver la capacidad de adsorción aumenta considerablemente al aumentar la concentración de fuerza iónica en alto y medio peso molecular de quitosana para todas las concentraciones de ácido húmicos evaluadas.

### 5.3.5. Peso Molecular-pH

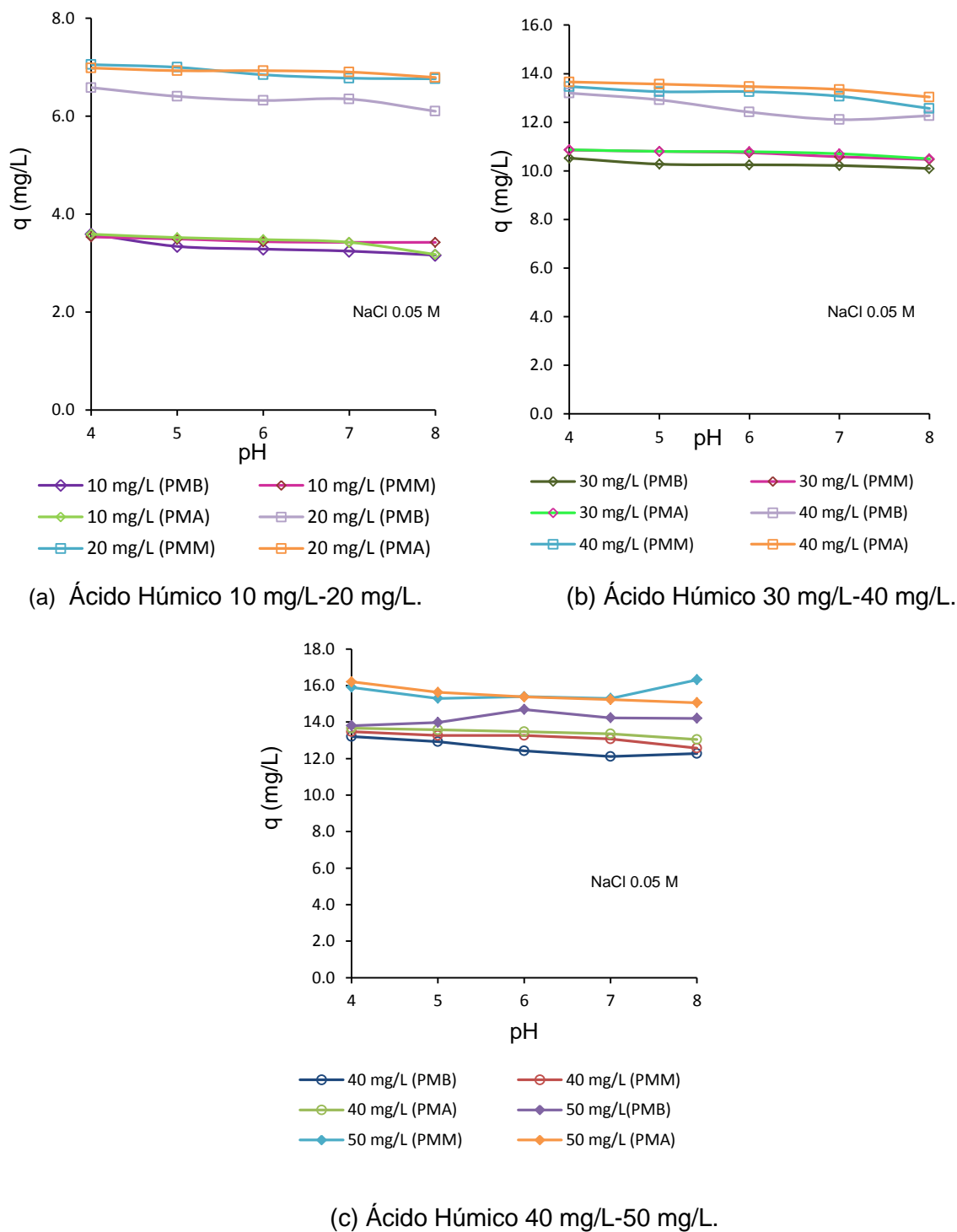


Figura 5.6 Peso Molecular de Quitosana-pH.



La Figura 5.8 muestra que la máxima capacidad de adsorción que presentan las diferentes concentraciones de ácido húmico es a pH de 4 y a peso molecular medio y alto de quitosana.

#### 5.4. Cinética de Adsorción, Agua Preparada

A continuación se presentan los resultados cinéticos obtenidos de las aguas preparadas en el laboratorio a diferentes concentraciones de ácido húmico

##### 5.4.1. Modelos Cinéticos

Las Tablas 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9 presentan los parámetros que se ajustan a los modelos cinéticos (pseudo-primer-orden y pseudo-segundo-orden) de agua preparada en el laboratorio a diferentes pH y pesos moleculares de quitosana (bajo, medio y alto).

**Tabla 5.5** Modelo Cinético, Ácido Húmico 10 mg/L.

PM	pH	10 mg/L (DOC 3.53 mg/L + 0.00 NaCl)						10 mg/L (DOC 3.64 mg/L + 0.01 NaCl)						10 mg/L (DOC 3.78 mg/L + 0.05 NaCl)					
		Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden		
		f	q	K <sub>r</sub>	f	q	K <sub>r</sub>	f	q	K <sub>r</sub>	f	q	K <sub>r</sub>	f	q	K <sub>r</sub>	f	q	K <sub>r</sub>
Bajo	4	1.965	3.031	0.445	0.648	2.914	1.820	0.157	3.194	0.091	0.058	3.466	0.042	0.167	3.350	0.128	0.096	3.522	0.056
	5	1.760	2.945	0.419	0.689	2.824	1.596	0.125	3.176	0.062	0.029	3.594	0.023	0.107	3.170	0.090	0.030	3.435	0.043
	6	1.444	2.957	0.313	0.823	2.741	1.204	0.243	3.149	0.050	0.091	3.654	0.017	0.114	3.321	0.031	0.053	4.107	0.008
	7	0.919	3.019	0.219	0.576	3.213	0.118	0.321	3.110	0.045	0.154	3.653	0.015	0.117	3.413	0.023	0.078	4.424	0.005
	8	0.450	2.769	0.145	0.511	3.074	0.061	0.385	3.099	0.037	0.211	3.696	0.012	0.289	3.591	0.018	0.266	4.843	0.003
Medio	4	0.362	3.264	6.539	0.279	3.310	3.233	0.131	3.323	0.140	0.079	3.461	0.096	0.084	3.370	0.114	0.033	3.558	0.065
	5	0.720	3.133	6.586	0.610	3.181	3.274	0.168	3.280	0.146	0.116	3.412	0.103	0.079	3.319	0.109	0.027	3.517	0.062
	6	0.768	3.074	6.641	0.654	3.122	3.250	0.179	3.241	0.135	0.114	3.395	0.087	0.075	3.287	0.109	0.028	3.481	0.062
	7	0.827	2.977	6.261	0.699	3.029	3.080	0.181	3.197	0.143	0.119	3.339	0.096	0.095	3.235	0.105	0.032	3.446	0.057
	8	1.262	3.116	0.359	0.624	3.020	0.711	0.609	2.910	0.097	0.417	3.210	0.041	0.144	3.160	0.103	0.066	3.383	0.054
Alto	4	0.256	3.309	8.903	0.216	3.335	5.692	0.139	3.343	0.137	0.082	3.490	0.090	0.094	3.429	0.110	0.034	3.635	0.060
	5	0.490	3.181	8.896	0.437	3.210	5.746	0.159	3.307	0.126	0.090	3.479	0.075	0.090	3.385	0.111	0.035	3.583	0.061
	6	0.501	3.126	8.756	0.447	3.155	5.652	0.138	3.278	0.127	0.076	3.443	0.078	0.093	3.310	0.114	0.040	3.497	0.065
	7	0.483	3.063	8.744	0.428	3.092	5.724	0.190	3.248	0.103	0.088	3.487	0.051	0.098	3.265	0.083	0.030	3.565	0.037
	8	0.608	2.970	8.420	0.545	3.001	5.417	0.196	2.909	0.100	0.096	3.140	0.052	0.038	3.067	0.072	0.017	3.391	0.032

**Tabla 5.6** Modelo Cinético, Ácido Húmico 20 mg/L.

PM	pH	20 mg/L (DOC 6.92 mg/L + 0.00 NaCl)						20 mg/L (DOC 7.09 mg/L+ 0.01 NaCl)						20 mg/L (DOC 7.55 mg/L + 0.05 NaCl)					
		Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden		
		f	q	K <sub>1</sub>	f	q	K <sub>2</sub>	f	q	K <sub>1</sub>	f	q	K <sub>2</sub>	f	q	K <sub>1</sub>	f	q	K <sub>2</sub>
Bajo	4	1.411	5.544	0.336	0.617	5.840	0.087	0.021	6.459	0.123	0.007	6.631	0.071	0.008	6.543	0.204	0.005	6.584	0.340
	5	1.487	5.429	0.271	0.551	5.772	0.067	0.068	6.295	0.086	0.012	6.690	0.028	0.350	6.162	0.104	0.204	6.495	0.038
	6	1.465	5.272	0.223	0.521	5.646	0.055	0.870	5.874	0.082	0.783	6.316	0.025	0.052	6.234	0.044	0.006	7.315	0.008
	7	0.789	5.283	0.103	0.247	5.822	0.024	0.674	6.315	0.064	0.619	6.650	0.016	0.639	6.101	0.039	0.276	7.282	0.006
	8	0.608	5.087	0.084	0.222	5.736	0.018	0.246	6.149	0.038	0.563	6.441	0.006	1.311	5.678	0.030	0.883	6.951	0.005
Medio	4	0.116	6.333	0.355	0.028	6.535	0.110	0.014	6.699	0.141	0.002	6.825	0.100	0.027	6.936	0.157	0.012	7.044	0.124
	5	0.132	6.286	0.348	0.020	6.495	0.106	0.018	6.541	0.167	0.010	6.618	0.173	0.018	6.901	0.165	0.008	6.989	0.151
	6	0.579	6.075	0.278	0.403	6.356	0.074	0.012	6.509	0.149	0.006	6.606	0.128	0.024	6.746	0.152	0.009	6.860	0.116
	7	1.261	5.830	0.281	0.848	6.131	0.073	0.010	6.462	0.137	0.002	6.587	0.099	0.025	6.714	0.128	0.005	6.887	0.072
	8	0.567	5.643	0.294	0.280	5.903	0.084	0.050	6.379	0.119	0.013	6.584	0.060	0.076	6.621	0.122	0.026	6.839	0.058
Alto	4	0.027	6.446	0.369	0.054	6.624	0.121	0.012	6.656	0.167	0.004	6.732	0.172	0.013	6.888	0.181	0.008	6.951	0.213
	5	0.188	6.340	0.379	0.017	6.535	0.120	0.013	6.628	0.172	0.006	6.697	0.193	0.011	6.854	0.151	0.003	6.960	0.120
	6	0.512	6.255	0.374	0.133	6.481	0.110	0.009	6.598	0.156	0.002	6.687	0.144	0.024	6.831	0.153	0.009	6.944	0.117
	7	0.563	6.058	0.341	0.212	6.301	0.097	0.015	6.569	0.153	0.004	6.669	0.130	0.036	6.789	0.153	0.016	6.907	0.113
	8	0.812	5.931	0.203	0.152	6.323	0.047	0.054	6.411	0.128	0.022	6.585	0.073	0.043	6.672	0.118	0.008	6.895	0.055

**Tabla 5.7** Modelo Cinético, Ácido Húmico 30 mg/L.

PM	pH	30 mg/L (DOC 9.80 mg/L + 0.00 NaCl)						30 mg/L (DOC 10.50 mg/L + 0.01 NaCl)						30 mg/L (DOC 11.20 mg/L + 0.05 NaCl)					
		Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden		
		f	q	K <sub>1</sub>	f	q	K <sub>2</sub>	f	q	K <sub>1</sub>	f	q	K <sub>2</sub>	f	q	K <sub>1</sub>	f	q	K <sub>2</sub>
Bajo	4	1.642	8.626	0.083	0.352	9.290	0.014	1.649	9.174	0.171	0.233	9.686	0.026	0.132	10.285	0.067	0.351	10.728	0.014
	5	0.503	8.622	0.060	0.209	9.503	0.009	0.542	9.247	0.078	0.283	10.099	0.011	0.070	10.157	0.065	0.214	10.613	0.014
	6	1.303	8.432	0.055	0.166	9.359	0.008	0.519	9.072	0.076	0.305	9.914	0.011	0.143	10.086	0.062	0.063	10.591	0.012
	7	1.314	8.346	0.048	0.536	9.374	0.007	1.524	8.878	0.052	0.863	9.843	0.008	0.070	10.078	0.051	0.497	10.727	0.009
	8	0.254	8.586	0.029	1.335	9.235	0.003	1.513	8.807	0.042	0.679	9.908	0.006	2.794	9.904	0.032	2.014	10.936	0.004
Medio	4	1.655	9.123	0.146	0.633	9.480	0.035	0.727	9.918	0.257	0.060	10.252	0.045	0.086	10.851	0.064	0.688	11.321	0.015
	5	1.970	9.040	0.121	0.605	9.500	0.025	0.842	9.832	0.228	0.055	10.222	0.038	0.049	10.776	0.060	0.603	11.301	0.011
	6	1.374	8.960	0.116	0.290	9.413	0.024	1.818	9.604	0.193	0.212	10.096	0.029	0.060	10.661	0.059	0.581	11.200	0.011
	7	1.014	8.922	0.094	0.139	9.497	0.017	1.588	9.322	0.170	0.166	9.856	0.025	0.030	10.508	0.058	0.379	11.067	0.011
	8	1.062	8.580	0.081	0.429	9.223	0.014	1.115	8.997	0.181	0.139	9.467	0.029	0.104	10.313	0.056	0.151	10.904	0.010
Alto	4	0.278	9.451	0.141	0.065	9.741	0.037	0.078	10.062	0.330	0.043	10.259	0.077	0.146	10.922	0.069	0.875	11.309	0.016
	5	0.303	9.341	0.121	0.105	9.716	0.027	0.526	9.941	0.298	0.061	10.205	0.059	0.206	10.830	0.063	1.015	11.299	0.013
	6	0.375	9.235	0.121	0.083	9.610	0.026	0.717	9.838	0.222	0.021	10.232	0.037	0.112	10.727	0.059	0.673	11.268	0.011
	7	0.672	9.167	0.104	0.123	9.642	0.021	0.710	9.528	0.200	0.043	9.959	0.032	0.100	10.626	0.058	0.746	11.166	0.011
	8	0.340	9.164	0.077	0.403	9.829	0.013	0.470	9.399	0.169	0.115	9.880	0.027	0.078	10.431	0.060	0.460	10.958	0.012

**Tabla 5.8** Modelo Cinético, Ácido Húmico 40 mg/L.

PM	pH	40 mg/L (DOC 13.20 mg/L + 0.00 NaCl)						40 mg/L (DOC 13.49 mg/L+ 0.01 NaCl)						40 mg/L (DOC 14.09 + 0.05 NaCl)					
		Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden		
		f	q	K <sub>i</sub>	f	q	K <sub>s</sub>	f	q	K <sub>i</sub>	f	q	K <sub>s</sub>	f	q	K <sub>i</sub>	f	q	K <sub>s</sub>
Bajo	4	0.362	11.500	0.077	0.105	11.979	0.015	0.220	12.390	0.051	0.063	12.873	0.012	0.208	12.873	0.066	0.026	13.511	0.010
	5	0.391	11.460	0.064	0.083	12.110	0.010	0.266	11.840	0.043	0.090	12.513	0.008	0.367	12.698	0.065	0.048	13.355	0.009
	6	0.633	11.164	0.069	0.386	11.731	0.012	0.405	11.391	0.045	0.183	11.997	0.009	0.137	12.427	0.048	0.225	13.423	0.006
	7	0.513	11.279	0.065	0.089	11.930	0.010	0.423	11.293	0.035	0.170	12.249	0.005	0.373	11.998	0.043	0.006	13.167	0.005
	8	0.179	11.295	0.034	0.515	12.735	0.004	0.128	10.837	0.027	0.120	12.208	0.003	1.025	11.760	0.042	0.137	13.027	0.004
Medio	4	1.268	12.350	0.070	0.398	13.036	0.010	0.501	12.565	0.056	0.285	13.001	0.014	0.034	13.339	0.086	0.010	13.702	0.017
	5	2.702	12.001	0.070	1.227	12.752	0.010	0.247	12.297	0.045	0.054	12.931	0.009	0.095	13.159	0.087	0.023	13.513	0.018
	6	1.781	11.533	0.065	0.625	12.294	0.009	0.053	11.994	0.048	0.001	12.501	0.011	0.283	12.959	0.076	0.047	13.458	0.013
	7	1.839	11.141	0.067	1.045	11.808	0.011	0.054	11.863	0.043	0.013	12.519	0.008	0.527	12.749	0.078	0.166	13.238	0.013
	8	1.170	10.982	0.056	0.589	11.798	0.008	0.602	11.317	0.049	0.308	11.870	0.010	0.170	12.390	0.079	0.017	12.823	0.015
Alto	4	1.149	12.564	0.082	0.451	13.097	0.016	0.025	12.918	0.079	0.010	13.050	0.045	0.055	13.520	0.101	0.008	13.776	0.025
	5	1.610	12.412	0.066	0.508	13.172	0.009	0.025	12.818	0.055	0.004	13.192	0.015	0.160	13.325	0.107	0.059	13.557	0.029
	6	1.692	11.869	0.075	0.756	12.494	0.012	0.060	12.784	0.052	0.027	13.229	0.012	0.223	13.166	0.091	0.058	13.504	0.020
	7	1.548	11.470	0.077	0.872	12.026	0.013	0.056	12.596	0.049	0.004	13.110	0.011	0.334	13.011	0.095	0.134	13.325	0.021
	8	1.174	11.144	0.057	0.488	11.955	0.008	0.109	11.942	0.056	0.026	12.309	0.016	0.288	12.803	0.098	0.123	13.091	0.023

**Tabla 5.9** Modelo Cinético, Ácido Húmico 50 mg/L.

PM	pH	50 mg/L (DOC 15.70 mg/L + 0.00 NaCl)						50 mg/L (DOC 15.70 mg/L + 0.01 NaCl)						50 mg/L (DOC 16.43 mg/L + 0.05 NaCl)					
		Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden			Pseudo-primer orden			Pseudo-segundo orden		
		f	q	K <sub>i</sub>	f	q	K <sub>s</sub>	f	q	K <sub>i</sub>	f	q	K <sub>s</sub>	f	q	K <sub>i</sub>	f	q	K <sub>s</sub>
Bajo	4	2.909	13.781	0.020	1.483	15.614	0.002	0.163	14.904	0.028	0.058	15.920	0.004	0.493	13.427	0.034	0.100	13.968	0.007
	5	1.118	12.716	0.022	0.453	14.151	0.003	0.246	14.584	0.027	0.116	15.713	0.004	1.255	13.514	0.030	0.377	14.271	0.005
	6	0.986	12.786	0.020	0.495	14.372	0.002	0.473	14.277	0.021	0.044	15.942	0.002	2.903	13.814	0.028	1.363	14.765	0.004
	7	0.373	12.607	0.020	0.070	14.229	0.002	0.226	13.583	0.018	0.741	15.690	0.002	1.216	13.903	0.023	0.420	14.986	0.003
	8	0.501	11.539	0.022	0.156	12.784	0.003	0.522	13.288	0.016	0.684	15.699	0.001	2.008	13.455	0.025	0.717	14.437	0.004
Medio	4	1.258	13.938	0.023	0.537	15.452	0.003	0.265	14.987	0.034	0.091	15.704	0.006	0.313	15.621	0.045	0.091	15.963	0.013
	5	1.829	13.418	0.024	0.848	14.823	0.003	0.051	14.872	0.026	0.186	16.077	0.003	3.342	14.443	0.027	1.489	15.474	0.004
	6	2.105	13.200	0.023	1.013	14.657	0.003	0.051	14.872	0.026	0.056	15.956	0.003	0.684	14.948	0.036	0.196	15.492	0.008
	7	1.472	13.104	0.021	0.597	14.707	0.002	0.319	13.440	0.026	0.041	14.600	0.004	0.891	14.829	0.029	0.202	15.616	0.005
	8	0.049	12.380	0.022	0.193	13.782	0.003	0.007	15.173	0.050	0.031	15.373	0.024	2.978	14.856	0.036	2.047	15.527	0.006
Alto	4	0.818	14.766	0.026	0.191	16.085	0.003	0.818	14.766	0.026	0.191	16.085	0.003	0.408	15.860	0.049	0.182	16.167	0.015
	5	0.255	13.962	0.028	0.080	14.931	0.004	0.182	14.827	0.029	0.400	15.725	0.005	2.251	14.843	0.022	0.664	16.145	0.003
	6	0.017	13.754	0.024	0.146	15.036	0.003	0.332	14.584	0.026	0.193	15.807	0.003	0.809	14.789	0.041	0.374	15.244	0.010
	7	0.386	13.469	0.023	0.101	14.870	0.003	0.216	14.114	0.023	0.240	15.496	0.003	2.623	14.655	0.026	1.046	15.697	0.004
	8	1.200	12.920	0.025	0.693	14.161	0.003	1.732	13.255	0.026	1.110	14.451	0.004	1.249	14.377	0.030	0.357	15.168	0.005

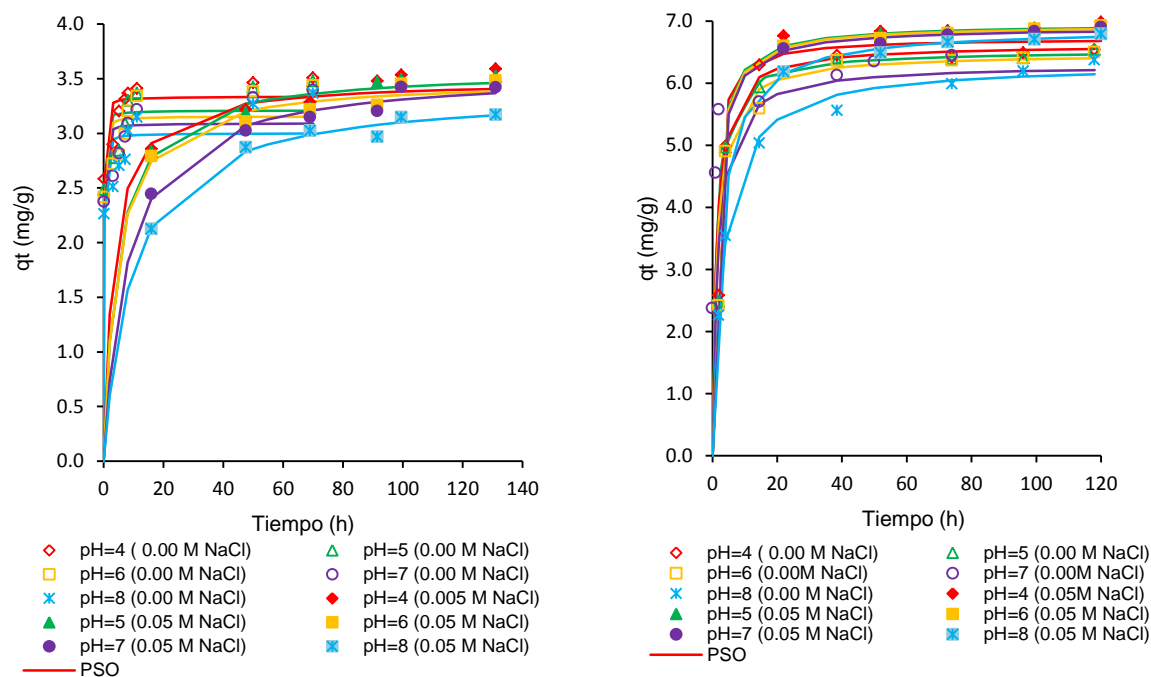
Similar a las aguas naturales, el modelo cinético de pseudo-segundo-orden es el que describe mejor la adsorción de NOM en quitosana ya que los valores de f son mucho menores que los de pseudo-primer-orden. Este modelo asume que la adsorción ocurre por el intercambio iónico entre la carga positiva de los grupos amino de la quitosana y la carga negativa del compuesto húmico (Septhum et al., 2007).



Las capacidades de adsorción ( $q$ ) de las diferentes concentraciones de ácido húmico incrementaron con quitosana de medio y alto peso molecular y fuerza iónica de 0.05 M esto se debe a que la quitosana de peso molecular tiene una constitución rígida (Davydova et al., 2000) que hace que aumente la capacidad de adsorción, más una fuerza iónica alta hace que se reduzca la repulsión entre la superficie del adsorbente y la del adsorbato.

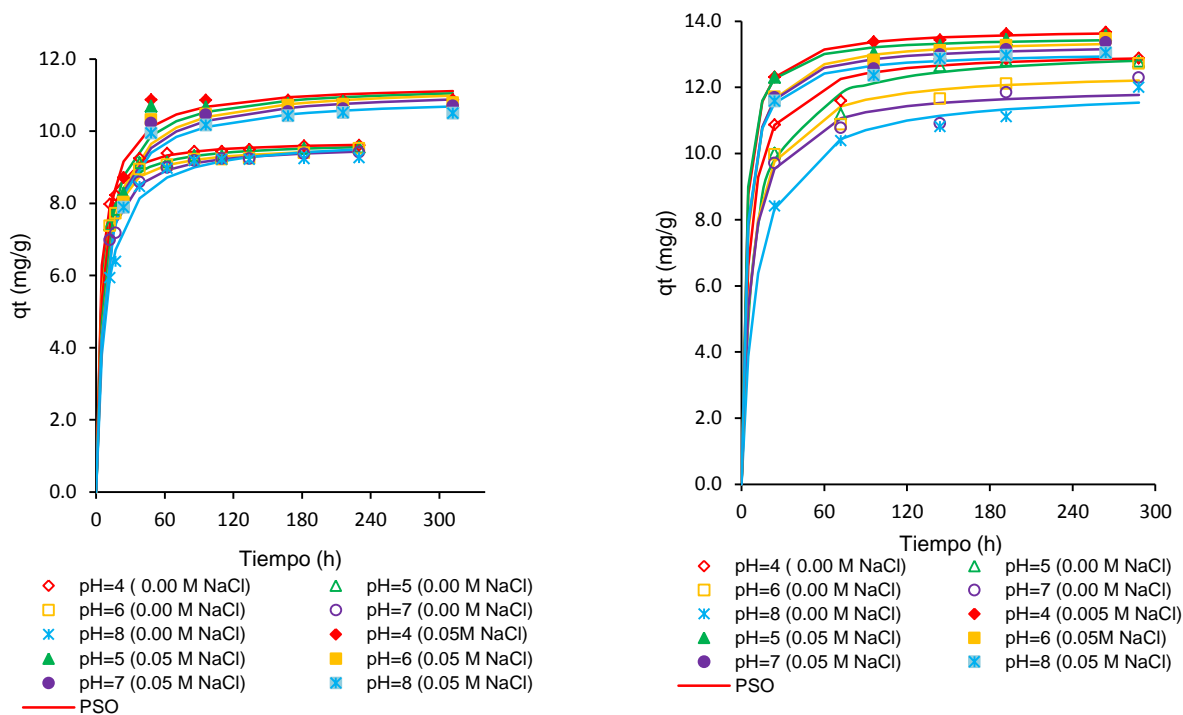
#### 5.4.2. Comportamiento de la Cinética de Adsorción, Agua Preparada

La Figura 5.9 compara los valores experimentales y los resultados del modelo cinético pseudo-segundo-orden a diferentes pH y concentraciones de ácido húmico de (a) 10 mg/L, (b) 20 mg/L, (c) 30 mg/L, (d) 40 mg/L y (e) 50 mg/L de alto peso molecular de quitosana y de 0.00 M a 0.05 M de NaCl como simulador de la fuerza iónica.



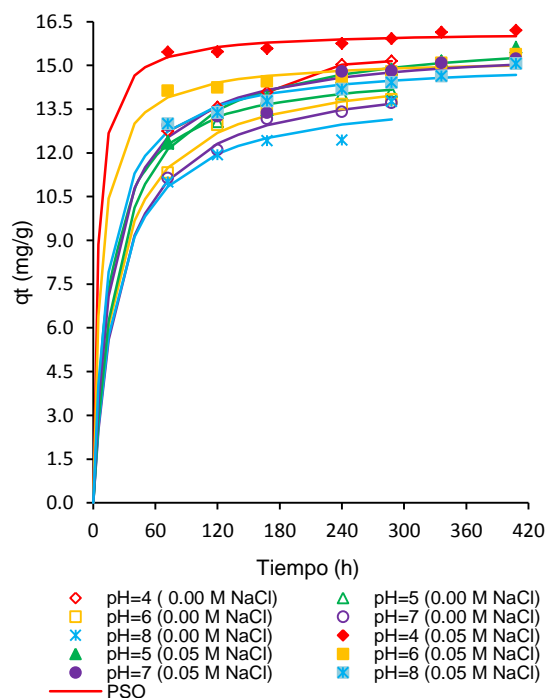
(a) Ácido húmico 10 mg/L.

(b) Ácido húmico 20 mg/L.



(c) Ácido húmico 30 mg/L.

(d) Ácido húmico 40 mg/L.



(e) Ácido húmico 50 mg/L.

Figura 5.7 Comportamiento Cinético Pseudo-Segundo Orden, Agua Preparada.

La Figura 5.9 compara la influencia de la fuerza iónica 0.00 M y 0.05 M para cada concentración de ácido húmico utilizada en la adsorción de la quitosana. Con una fuerza iónica de 0.05 M NaCl se incrementa la capacidad de adsorción en comparación con una fuerza iónica de 0.00 M NaCl.

En la misma figura se puede ver que la capacidad de adsorción aumenta cuanto incrementa la concentración de ácido húmico necesitando mayor tiempo para alcanzar el equilibrio. Así mismo se puede observar que las mayores capacidades de adsorción se alcanzaron a pH de 4.

## 5.5. Equilibrio de Adsorción, Agua Cruda

A continuación se presentan los resultados de equilibrio de adsorción, obtenidos de los modelos de isotermas a diferentes pesos moleculares de quitosana.

### 5.5.1. Modelos Isotermas, Agua Cruda

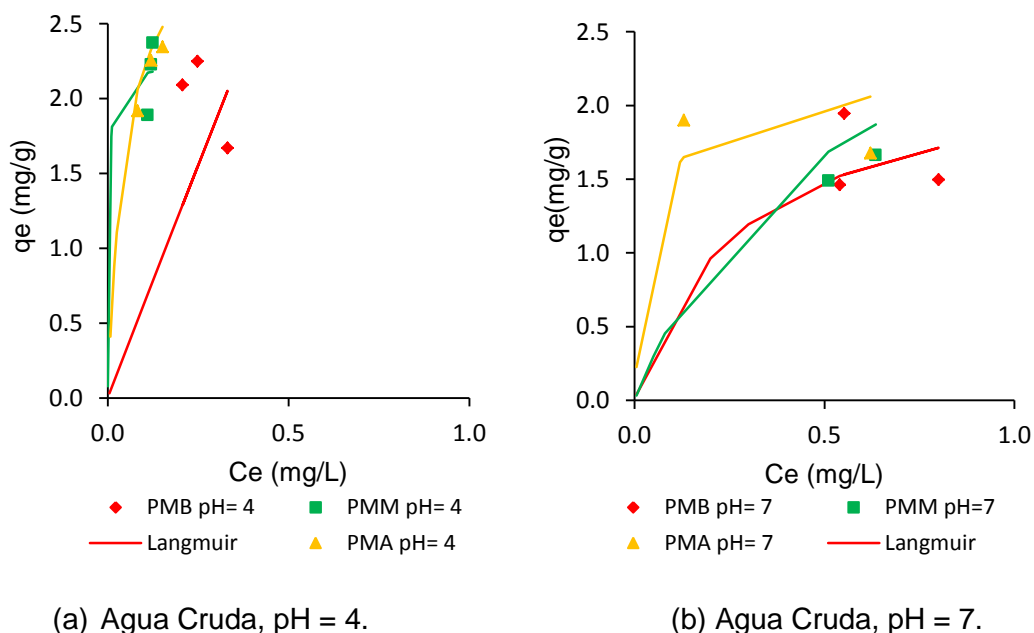
**Tabla 5.10** Modelo Isoterma, Agua Cruda.

PM	pH	Agua Cruda									
		Modelo Freundlich			Modelo Langmuir			Modelo Redlich-Peterson			
		f	a <sub>F</sub>	b <sub>F</sub>	f	q <sub>emax</sub>	b	f	K <sub>R</sub>	a <sub>R</sub>	b <sub>R</sub>
Bajo	4	0.073	1.000	-0.480	1.100	110.0	0.060	0.000	1.0E+03	1.366	0.006
	5	0.027	0.542	-1.100	0.221	2.400	0.131	0.059	1.9E+04	1.932	0.000
	6	0.056	1.900	0.072	0.054	2.000	2.71	0.000	5.933	1.1E+01	4.579
	7	0.150	1.600	0.0017	0.231	2.300	3.500	0.102	3.128	55.618	19.920
Medio	4	0.110	1.200	-0.901	0.280	2.300	2.300	0.108	7.5E+11	6.439	0.000
	5	0.121	2.100	-0.016	0.131	2.200	360.2	0.123	1.0E+03	0.521	0.001
	6	0.078	1.400	-0.241	2.20	81.01	0.092	0.078	9.3E+03	6.702	0.001
	7	0.037	1.300	-0.301	0.431	1.800	820.4	0.037	1.1E+08	0.842	0.000
Alto	8	0.081	1.200	-0.591	0.520	3.400	1.900	0.081	1.1E+11	0.979	0.000
	4	0.033	1.000	-1.000	0.541	3.000	1.600	1.1E-12	3.831	12.399	8.840
	5	0.100	2.300	0.026	0.651	3.300	20.01	1.685	5.2E+08	0.436	0.000
	6	0.032	3.000	0.131	0.172	3.100	23.021	0.047	-28.480	-7.208	0.488
Alto	7	0.073	2.100	0.029	0.068	2.100	120.22	1.7E-12	25.833	24.373	1.859
	8	0.130	1.800	-0.049	0.383	2.200	23.013	3.1E-12	27.896	20.315	1.637
	8	0.131	1.600	-0.171	1.302	5.200	1.400	0.032	7.211	288.328	11.230

La Tabla 5.10 presenta los parámetros obtenidos en cada modelo de isoterma, para determinar el mejor ajuste. Al comparar los valores de la minimización (f) el modelo de Redlich-Peterson y Freundlich presenta valores menores de “f” a los del modelo de Langmuir.

### 5.5.2. Comportamiento del Equilibrio Adsorción, Agua Cruda

A pesar de que los modelos de isotermas de Redlich-Peterson y Freundlich presentaron valores de f menores a los de Langmuir, al graficar los valores experimentales con los valores de los tres modelos en estudio, Langmuir muestra el mejor ajuste (Figura 5.10). En el Anexo E se presentan los valores experimentales y los valores ajustados para todos los modelos.



**Figura 5.8** Modelo Langmuir, Agua Cruda.

La Figura 5.10b presenta un comportamiento de una isoterma favorable a pH 7 (cóncava hacia abajo) en cambio para la Figura 5.10a presenta un comportamiento lineal. Como se puede observar en la figura no se llegó a

alcanzar el equilibrio esto ocurrió posiblemente a que el tiempo dado a los experimentos no fue suficiente para poder alcanzar el equilibrio. El ajuste del modelo de Langmuir predice la constante monocapa  $q_{\text{emax}}$  que muestra la capacidad máxima de adsorción.

## 5.6. Equilibrio de Adsorción, Agua Preparada

A continuación se presentan los resultados de equilibrio de adsorción obtenidos de los modelos de isothermas para las aguas preparadas en el laboratorio a diferentes pesos moleculares de quitosana y fuerza iónica.

### 5.6.1. Modelos Isothermas, Agua Preparada

Las Tablas 5.11, 5.12 y 5.13 presentan los valores de las constantes de los modelos de las isothermas (Freundlich, Langmuir y Redlich-Peterson) para determinar cuál de estos se ajusta mejor al equilibrio de adsorción.

**Tabla 5.11** Modelo Isotherma, Fuerza Iónica 0.00M.

		Fuerza Iónica 0.00 M									
PM	pH	Modelo Freundlich			Modelo Langmuir			Modelo Redlich-Peterson			
		f	a <sub>F</sub>	b <sub>F</sub>	f	q <sub>emax</sub>	b	f	K <sub>R</sub>	a <sub>R</sub>	b <sub>R</sub>
Bajo	4	21.066	10.011	0.807	21.044	137.59	0.078	21.066	7.35E+05	0.7371	0.000
	5	14.093	8.355	0.609	14.627	25.033	0.516	14.0854	78.4269	8.355	0.4385
	6	15.089	7.647	0.534	12.471	20.375	0.634	9.4529	7.6795	0.0003	7.4054
	7	12.911	7.278	0.563	10.729	21.511	0.529	7.0414	7.1217	0.0003	6.9855
	8	19.054	6.313	0.504	15.381	18.293	0.528	9.8498	5.7393	0.0001	6.8974
Medio	4	25.360	13.461	0.284	23.938	13.193	13.196	25.0552	1090.00	0.0816	0.0008
	5	17.712	12.188	0.305	17.361	15.013	4.839	17.1511	386.9881	30.7023	0.7559
	6	11.310	11.165	0.374	12.668	16.069	2.714	10.7917	128.9703	10.3819	0.7291
	7	10.243	10.525	0.422	9.713	17.876	1.643	9.4071	51.5036	3.7545	0.7811
	8	11.543	8.943	0.334	7.676	14.686	1.967	7.5686	23.2929	1.347	1.116
Alto	4	32.128	17.616	0.441	31.320	15.554	7.735	32.26	3.11E+07	0.1726	0.000
	5	22.517	12.712	0.320	19.001	15.814	4.743	18.8039	93.9763	6.2518	0.9215
	6	24.784	11.922	0.327	18.568	16.186	3.593	18.1424	44.4172	2.401	1.1686
	7	8.772	12.006	0.520	7.748	20.346	1.524	7.7428	32.4603	1.6478	0.9559
	8	5.760	10.314	0.501	4.223	19.727	1.233	4.2007	22.3626	1.0349	1.0917

**Tabla 5.12** Modelo Isoterma, Fuerza Iónica 0.01M.

PM	pH	Fuerza Iónica 0.01 M									
		Modelo Freundlich			Modelo Langmuir			Modelo Redlich-Peterson			
		f	a <sub>F</sub>	b <sub>F</sub>	f	q <sub>emax</sub>	b	f	K <sub>R</sub>	a <sub>R</sub>	b <sub>R</sub>
Bajo	4	38.903	13.098	0.709	36.568	27.658	0.858	15.662	18.030	1.789	15.289
	5	40.489	11.269	0.682	38.055	26.947	0.728	33.258	14.649	0.224	4.075
	6	33.214	9.287	0.714	31.639	28.635	0.497	28.177	10.170	0.018	6.418
	7	2.137	6.676	0.903	2.059	117.677	0.060	2.137	1.6E+10	0.240	0.000
	8	3.860	6.065	0.814	4.209	51.738	0.131	3.860	3.56E+11	0.588	0.000
Medio	4	1.835	30.595	1.239	4.109	917.415	0.028	1.844	1.5600	-0.950	0.016
	5	20.191	15.655	0.724	18.362	33.630	0.816	8.274	20.494	37.168	41.582
	6	26.788	12.028	0.525	21.397	21.212	1.384	6.441	16.817	0.008	14.716
	7	4.208	9.757	0.565	2.375	21.820	0.890	1.945	15.317	0.432	1.544
	8	0.509	8.240	0.661	0.316	26.216	0.485	0.280	14.649	0.727	0.799
Alto	4	14.016	29.569	1.114	14.564	584.100	0.047	11.484	24.700	-179.117	10.744
	5	5.836	24.126	1.108	6.4899	562.345	0.041	5.782	20.621	-0.233	1.727
	6	12.143	21.755	1.024	12.104	431.838	0.051	12.144	0.350	-0.984	0.000
	7	10.134	12.022	0.535	6.283	22.642	1.220	1.469	16.383	0.009	10.267
	8	8.095	9.797	0.948	7.993	136.719	0.078	7.777	10.281	0.013	5.440

**Tabla 5.13** Modelo Isoterma, Fuerza Iónica 0.05M.

PM	pH	Fuerza Iónica 0.05 M									
		Modelo Freundlich			Modelo Langmuir			Modelo Redlich-Peterson			
		f	a <sub>F</sub>	b <sub>F</sub>	f	q <sub>emax</sub>	b	f	K <sub>R</sub>	a <sub>R</sub>	b <sub>R</sub>
Bajo	4	0.0732	1.0393	-0.4802	26.7163	16.469	1.836	26.7858	28.2164	1.631	1.0426
	5	0.0266	0.5393	-1.1463	26.638	24.572	0.572	25.1647	9.8753	0.0835	2.4262
	6	0.0559	1.9043	0.07	20.659	433.224	0.018	20.6863	16.683	1.1696	-0.0188
	7	0.1259	1.4203	-0.2941	15.5983	49.532	0.173	15.585	9.2637	0.2696	0.7545
	8	0.1076	1.1893	-0.8996	20.45	306.826	0.021	20.47473	30.0091	3.675	0.0259
Medio	4	0.1216	2.0852	-0.0158	47.47802	269.696	0.0884	47.922	1020.0	2.18	0.020
	5	0.0783	1.4033	-0.2433	22.665	41.7033	0.520	22.629	19.929	0.393	1.3641
	6	0.0371	1.3391	-0.2951	31.376	288.053	0.053	31.52	15.601	0.066	0.000
	7	0.0809	1.1605	-0.585	17.653	702.221	0.018	16.8908	11.969	-0.0351	9.9859
	8	0.0331	1.0344	-1.0465	244.120	128.00	0.048	249	13.612	0.3933	0.000
Alto	4	0.1002	2.325	0.0262	101.398	11.3726	30.689	184.18	17.501	-0.305	0.000
	5	0.0323	2.9574	0.1288	47.621	52.335	0.4735	47.5866	23.491	0.4205	1.3298
	6	0.0733	2.105	0.0292	37.645	42.7872	0.5335	37.4946	20.140	0.356	1.6748
	7	0.1311	1.8075	-0.0492	28.2571	56.228	0.3223	26.35465	15.453	0.0027	24.0719
	8	0.1302	1.5726	-0.1688	25.034	706.114	0.0159	25.8	14.280	0.2930	0.000

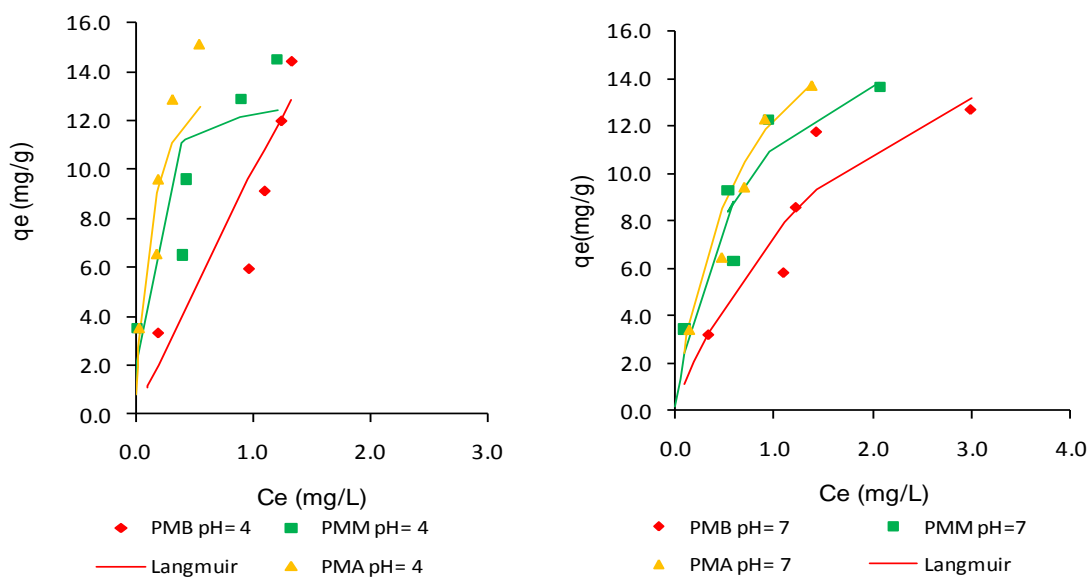
De acuerdo a los valores de la minimización (f), la adsorción de ácido húmico en quitosana con cero fuerza iónica sigue el modelo de Langmuir a pH 4 y el de Redlich-Peterson a pH mayores de 4. Con fuerza iónica de 0.01 M se sigue el modelo de Redlich-Peterson en todo el rango de pH evaluado. En cambio con fuerza iónica de 0.05 M, Freundlich describe mejor el proceso de adsorción. Este

comportamiento tan variado puede deberse a que no se alcanzó el equilibrio a pesar del tiempo prolongado de la experimentación.

### 5.6.2. Comportamiento de Equilibrio de Adsorción, Agua Preparada

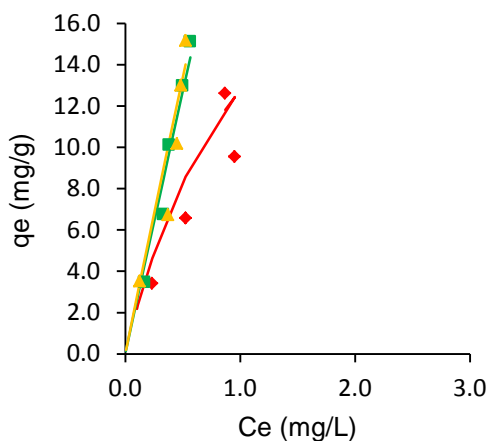
A continuación se presenta los gráficos con los valores experimentales y los resultados del mejor ajuste. Al graficar los valores experimentales con los valores de los tres modelos en estudio, Langmuir muestra el mejor ajuste.

Como puede observarse en la Figura 5.11, el comportamiento que sigue el modelo de Langmuir difiere para cada una de las condiciones evaluadas. La tendencia es lineal, esto quiere decir que pasa por el origen de coordenadas y la cantidad adsorbida es proporcional a la concentración en el líquido (Seira, 2008). El comportamiento (Figura 5.11e) para pH=4 y peso molecular bajo de quitosana (PMB) es el de una isoterma favorable ya que es convexa hacia abajo, esto quiere decir que se obtuvo una carga relativamente elevada del sólido para una concentración baja en el líquido (Seira, 2008).



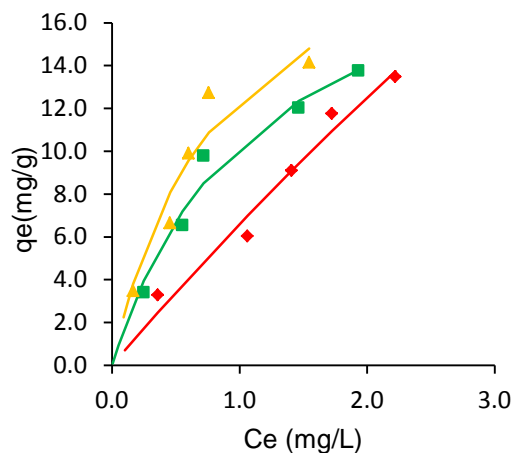
(a) Fuerza Iónica 0.00 M, pH=4.

(b) Fuerza Iónica 0.00 M, pH=7.



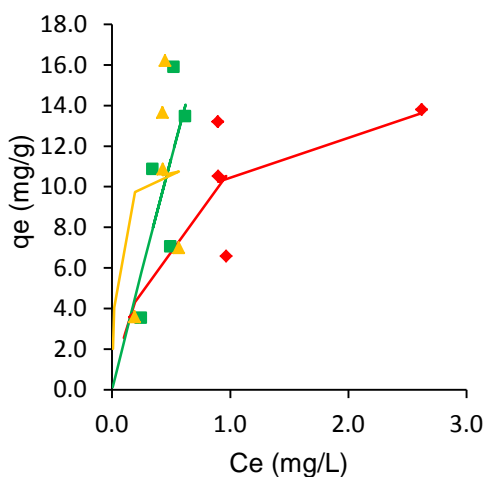
◆ PMB pH= 4    ■ PMM pH= 4  
— Langmuir    ▲ PMA pH= 4

(c) Fuerza Iónica 0.01 M, pH = 4.



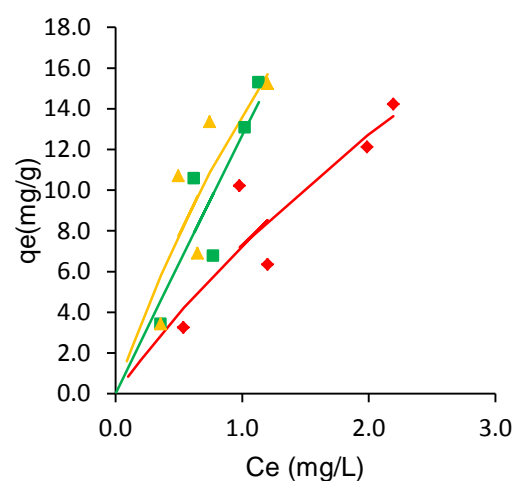
◆ PMB pH= 7    ■ PMM pH=7  
▲ PMA pH= 7    — Langmuir

(d) Fuerza Iónica 0.01 M, pH = 7.



◆ PMB pH= 4    ■ PMM pH= 4  
— Langmuir    ▲ PMA pH= 4

(e) Fuerza Iónica 0.05 M, pH = 4 .



◆ PMB pH= 7    ■ PMM pH=7  
▲ PMA pH= 7    — Langmuir

(f) Fuerza Iónica 0.05 M, pH = 7.

**Figura 5.9** Modelo Langmuir, Agua Preparada.

El Anexo F muestra gráficamente el comportamiento de cada modelo a diferentes pesos moleculares de quitosana y fuerza iónica. El modelo de Langmuir se caracteriza por una aproximación monótona hasta una capacidad de adsorción límite que corresponde a la formación de una monocapa completa.



## VI. Conclusión

El agua cruda de las tres fuentes potabilizadoras (Boaco, Juigalpa y Ocotal) difieren entre sí, encontrándose que las aguas provenientes de las fuentes que se abastecen de ríos (Boaco y Ocotal) son las que presentan mayor carga de contenido orgánico, y en menor cantidad la fuente que se abastece de lago (Juigalpa). La materia orgánica presentes en las tres fuentes de agua cruda, medida como: absorbancia ultravioleta ( $UV_{254}$ ), carbono orgánico disuelto (DOC), absorbancia específica ultravioleta (SUVA), color y color específico, caracterizan la materia orgánica como hidrofóbica de alto peso molecular.

Al controlar las variables de estudio del agua preparada en laboratorio a diferentes concentraciones de ácido húmico, para estudiar mejor el fenómeno de adsorción, se encontró que a mayor concentración de ácido húmico y pH bajo (pH=4) fuerza iónica de 0.05 M NaCl, y a pesos moleculares de quitosana de medio y alto la capacidad de adsorción incrementa.

La cinética de adsorción para las aguas naturales así como la de las aguas preparadas en el laboratorio se describe mejor con el modelo cinético de pseudo-segundo-orden. Además se halló en ambos tipos de aguas que la mayor capacidad de adsorción ( $q$ ) se encontró al utilizar quitosana de medio y alto peso molecular, y pH de 4. También en el agua preparada en laboratorio, se determinó que la capacidad de adsorción aumenta al incrementar la concentración de ácido húmico y la fuerza iónica.

Para las fuentes de agua cruda y agua preparada en laboratorio presentaron un ajuste que siguen el modelo isoterma de Langmuir, por lo que se trabajó con concentraciones relativamente altas de adsorbato, correspondiendo a la formación de monocapa completa dado por la  $q_{emax}$  (constante monocapa).

## VII. Recomendación

La necesidad de estudiar la cinética y equilibrio de adsorción es de gran importancia, ya que gracias a este estudio se comprobó la efectividad que tiene la quitosana como adsorbente natural para remover la materia orgánica presente en diferentes fuentes de agua para su posterior consumo humano. El contenido de la materia orgánica que está presente en las aguas superficiales y subterráneas trae consigo grandes consecuencias sobre la salud humana cuando se producen la formación de los sub-productos de la desinfección (DBPs) en la etapa de la desinfección.

Por lo que se recomienda seguir haciendo estudios sobre el uso de quitosana como adsorbente de la materia orgánica haciendo uso de columnas o colocando la quitosana en filtro para la remoción de la materia orgánica natural.

Realizar muestreos en las fuentes potabilizadoras que se abastecen de Boaco, Juigalpa y Ocotal en épocas secas para tener una mejor representatividad en los resultados

Incrementar el tiempo de contacto de la materia orgánica con la quitosana para lograr el equilibrio del sistema.

Producir la quitosana a nivel de laboratorio a partir de caparazón de camarón y comparar su efectividad con la quitosana comercial (ALDRICH) como adsorbente de la materia orgánica.

Estudiar la desorción para la regeneración de la quitosana y comprobar la capacidad de adsorción de la quitosana regenerada.

## VIII. Lista de Abreviaturas

<b>AC</b>	Agua Cruda
<b>ANZECC</b>	Australian and New Zealand Guideline for Fresh and Marine Water Quality
<b>CAPRE</b>	Comité de Calidad de Agua para América Central y el Caribe
<b>DOC</b>	Carbón Orgánico Disuelto
<b>HAA</b>	Ácidos Haloacéticos
<b>DBPs</b>	Sub-Productos de la Desinfección
<b>NOM</b>	Materia Orgánica Natural
<b>PMB</b>	Peso Molecular Bajo de Quitosana
<b>PMM</b>	Peso Molecular Medio de Quitosana
<b>PMA</b>	Peso Molecular Alto de Quitosana
<b>PM</b>	Peso Molecular
<b>SUVA</b>	Absorbancia Específica Ultravioleta
<b>THMs</b>	Trihalometanos
<b>USEPA</b>	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
<b>UV<sub>254</sub></b>	Absorbancia Ultravioleta a 254 nanómetros

## Nomenclatura

<b>FI</b>	Fuerza Iónica
<b>HCl</b>	Ácido Clorhídrico
<b>NaOH</b>	Hidróxido de Sodio
<b>q</b>	Capacidad de Adsorción
<b>f</b>	Factor de Minimización
<b>K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub></b>	Constantes cinética de pseudo-primer-orden y pseudo-segundo orden, respectivamente

## IX. Referencias Bibliográficas

Álvarez, B.E. (2005). Determinación de las isothermas de adsorción de Fe, Cu, Zn en quitosana. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua. 36-45.

ANZECC. (2000). Australian and New Zealand Guideline for Fresh and Marine Water Quality.

Arbatskii, A.P., Traktina, E.P., Smirnova, L.A. (2006). A titrimetric study of chemical properties of chitosan. Russian Journal of Applied Chemistry. 79(2), 272-274.

Atkins, P.W.(1991). Fisicoquímica. 3<sup>ra</sup> Edición. Addison-Wesley Iberoamericana. Capítulo 9. 175-190

Barret, E., Krasner, W., Amy, G. (2000). Natural organic matter and disinfection by-product. Characterization and control in drinking water. Editorial American Chemical Society. Washington DC. ISBN 0841236763. 1-8; 16-17; 28-29; 68-69; 139-140.

Bolto B., Gregory J. (2007). Organics polyelectrolytes in water treatment. Water Research. (41), 2301-2324.

Brown, J., Emelko, M.B. (2009). Chitosan and metal salt coagulant impacts on criptosporidium and microsphere removal by filtration. Water Research. (43), 331-338.

Crockford, H., Knight, S. (1964). Fundamentos de Fisicoquímica. 2<sup>da</sup> Edición, México, Editorial Continental, S.A. 452-455.

Davydova, V.N., Ermak, I.M., Gorbach, V., Drozdov, A.L., Solov'eva, T.F. (2000). A comparative study of the physiochemical properties of chitosans of different polymerization degree in neutral aqueous solutions. *Biofizika*. 45(4), 641-647.

Edzwald, J. (1993). Coagulation in drinking water treatment particles organics and coagulants. *Water Science and Technology*. (27), 21-35.

Edzwald, J., Tobiason, J. (1999). Enhanced coagulation: US requirements and a broader view. *Water Science and Technology*. 40(9), 63-70.

Eikebrokk, B., Juhna, T. (2006). Water treatment by enhanced coagulation-operational status and optimization issues. *Techneau*. 1-110.

ENACAL. (2009). Situación de los recursos hídricos de Nicaragua. *Boletín del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales*. Publicación No. 14.

Escobar, B.M. (2010). Protocolo del estudio del efecto de las variables de operación en los procesos de coagulación-floculación-sedimentación en la remoción de materia orgánica. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua. Nicaragua. 30-45.

Fram, M.S., Fujii, R., Weishaar, J.L., Bergamaschi, B.A., Aiken, G.R. (1999). How DOC composition may explain the poor correlation between specific trihalomethane formation and specific UV absorbance. Vol. 2: Contamination of hydrologic systems and related ecosystems. U.S. Geological survey toxic substances hydrology program. *Water-Resources Investigations*. Charleston South Carolina. Report 99-4018B. 423-431.

García, I. (2005). Removal of natural organic matter by enhanced coagulation in Nicaragua. Licenciante thesis in Chemical Engineering. Stokholm-Sweedeen. ISSN 1104-3466. 7-14.

García, I., Benavente, M., Moreno, L. (2011). Sorption Kinetics of fulvic and humic acid onto chitosan of different molecular weights. Paper draft. 1-15.

Gerente, C., Lee, V., Le Cloriec, P., Mckay, G. (2007). Application of chitosan for the removal of metals from wastewaters by adsorption-mechanisms and models review. Critical reviews. Enviromental Science and Technology. (37), 41–127.

Hakosen, T., Ratnaweera, H., Lindholm, O. (2008). The use of chitosan in water treatment an evaluation of practical application, natural organic matter: from source to tap. Conference proceedings. Bath, UK. 2-4<sup>th</sup> September. 123-134.

Hernández, A. (2009). Folleto de Potabilización del agua. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua. Nicaragua. 3-11.

Hepplewhite, C., Newcombe, G., Knappe, D.R.U. (2004) NOM and MB, who wins in the competition for activated carbon adsorption sites. Water Science and Technology. 49(9), 257-265.

Kumar, R. (2000). A review of chitin and chitosan applications. Reactive and Functional Polymers. (46), 1-27.

Levenspiel, O. (1987). Ingeniería de las reacciones químicas. 2<sup>da</sup> Edición. REPLASA. Capítulo 3. 50-60.

Lin, D., Lee, C.C. (2007). Water and wastewater calculations manual. 2<sup>da</sup> Edición. McGraw Hill. Capítulo 5. 322-333, 463-469.

Machenbach, I. (2007). Drinking water production by coagulation and membrane filtration. Thesis for the degree doctor ingenier. Trondheim, Norway. ISSN 1503-8181. 5-10.

McLachlan, R.C. (1995). Aluminum and the risk for alzheimer's disease. *Environmetrics*. (6), 233-275.

McNaught, A.D., Wilkinson, A., Nic, M., Jirat, J., Kosata, B., Jenkins, A. (2009). Ionic Strength. IUPAC. Compendium of chemical terminology. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1-3.

Muzzarelli, R.A., Raith, G., Tubertini, O. (1977) Separations of trace elements from seawater, brine and sodium and magnesium salt solutions by chromatography on chitosan. *Chromatography*. 47, 414.

Newcombe, G., Drikas, M., Assemi, S., Beckett, R. (1997). The influence of characterized natural organic material on activated carbon adsorption: I characterization of concentrated reservoir water. *Water Research*. 31(5), 963-972.

Normas CAPRE. Guías de Calidad de Agua. (2002). Comité Regional para la institución del agua potable y saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana. Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado. Ente Regulador, INAA. Managua, Nicaragua.

Parsons, S.A., Jefferson, B., Jarvis, P.J., Sharp, E., Dixon, D.W. (2007). Treatment of waters with elevated organic content. Editorial AWWA Research Foundation. ISBN-10 1843391589. 5-6.

Peniche, C. (2006). Estudios sobre quitina y quitosana. Editorial Universitaria. 1-95.



Renault, B.F., Badot, P.M., Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation process: an eco-friendly approach. *European Polymer Journal*. (45), 1337-1348.

Romero, J.J. (1999). *Calidad del agua*. Capítulo 2-4. 2<sup>da</sup> Edición. Editorial Alfa Omega. 40-67.

Roussy, J., Van Vooren, M., Dempsey, B.A., Guibal, E. (2005). Influence of characteristic on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions. *Water Research*. (39), 3247-3258.

Seira, J. (2008). *Adsorción de boro mediante perlas de alginato*. Tesis para graduarse como ingeniero químico-industrial. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Politécnica de Catalunya. 33-49.

Septhum, C., Rattanaphani, S., Bremmer, J.B., Rattanaphani, V. (2007). An adsorption study of Al (III) ions onto chitonsa. *Journal of Hazardous Materials*. 148, 185-191.

Siyanytsya, V., Kochkodan, V., Goncharuk, V. (2008). Natural organic matter removal from water by complexation-ultrafiltration. *Desalination*. 223, 91-96.

Smith, J.M. (1991). *Ingeniería de la cinética*. 2<sup>da</sup> Edición. Capítulo 2. Editorial McGraw-Hill. 89-110.

Stevenson, F. (1994). *Humus chemistry. Genesis, composition, reactions*. 2<sup>da</sup> Edición. Editorial John Wiley & Sons, New York. 1-20.

Tapia, A., Reyes, A. (2010). *Estudio de la fracción de materia orgánica más influyente en la formación de trihalometanos, en el agua superficial tratada*. Tesis

para graduarse de ingeniero químico. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua. Nicaragua. 15-25.

Thurman, E.M. Malcom, R.I. (1981). Isolation of natural organic matter by resin adsorption. *Environmental Science and Technology*. 15(4), 463-466.

USEPA, United State Environmental Protection Agency. (1998). National primary drinking water regulations: disinfectants and disinfection by-products D/DBP, Final Rule. EPA 69389-9476.

Volk, I., Varum, E., Guibal, O. (2003). Binding of ions to chitosan-selectivity studies. *Carbohydrate Polymers*. (55), 249-254.

### **Sitios web visitados**

<http://www.hach.com> (Visitado Noviembre del 2010).

[http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza\\_i%C3%B3nica](http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza_i%C3%B3nica) (visitado Febrero del 2011)

## Anexo A

### Herramientas de Recolección de Datos

#### A.1 Ficha de Campo

**Tabla A.1** Ficha de Campo.

<b>Lugar:</b>	
Fecha:	
Hora de Muestreo:	
Número de Muestreo:	
Parámetros In Situ	Valores Obtenidos
Temperatura (°C)	
pH	

#### A.2 Fichas de Laboratorio

**Tabla A.2** Lectura Inicial.

Fecha Inicio del Experimento			
	DOC	UV <sub>254</sub>	Color
AC			
pH 4			
pH 5			
pH 6			
pH 7			
pH 8			

### A.3 Ficha de Laboratorio para PTAP

**Tabla A.3** Lectura de DOC para Fuentes de PTAP.

Lectura de DOC (mg/L)									
PM	pH	Tiempo (h)							
		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>8</sub>
Bajo	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
Medio	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
Alto	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
Fechas									

Tipo de Agua: \_\_\_\_\_

PM: Peso Molecular de Quitosana

### A.4 Ficha de Laboratorio para Agua Preparada

**Tabla A.4** Lectura DOC para Agua Preparada en Laboratorio.

Concentración de Acido Húmico: _____									
Lectura de DOC (mg/L)					Fuerza Iónica: _____				
PM	pH	Tiempo (h)							
		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>
Bajo	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
Medio	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
Alto	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
Fechas									

**A.5 Diseño Experimental****Tabla A.5** Diseño Experimental.

<b>Número de Corridas</b>	<b>Corrida</b>	<b>Peso Molecular (PM)</b>	<b>Concentración Ácido Húmico (mg/L)</b>	<b>Fuerza Iónica (M)</b>	<b>pH</b>	<b>UV<sub>254</sub> (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>DOC (mg/L)</b>
1	1	Low	10	0	4	0.014	0.19
2	1	Low	10	0	5	0.016	0.22
3	1	Low	10	0	6	0.025	0.35
4	1	Low	10	0	7	0.025	0.35
5	1	Low	10	0	8	0.04	0.55
6	1	Low	10	0.01	4	0.017	0.23
7	1	Low	10	0.01	5	0.023	0.32
8	1	Low	10	0.01	6	0.024	0.33
9	1	Low	10	0.01	7	0.026	0.36
10	1	Low	10	0.01	8	0.027	0.37
11	1	Low	10	0.05	4	0.014	0.19
12	1	Low	10	0.05	5	0.032	0.44
13	1	Low	10	0.05	6	0.036	0.50
14	1	Low	10	0.05	7	0.039	0.54
15	1	Low	10	0.05	8	0.045	0.62
16	1	Low	20	0	4	0.07	0.97
17	1	Low	20	0	5	0.08	1.08
18	1	Low	20	0	6	0.08	1.09
19	1	Low	20	0	7	0.08	1.10
20	1	Low	20	0	8	0.10	1.41
21	1	Low	20	0.01	4	0.038	0.52
22	1	Low	20	0.01	5	0.044	0.61
23	1	Low	20	0.01	6	0.062	0.86
24	1	Low	20	0.01	7	0.077	1.06

25	1	Low	20	0.01	8	0.081	1.12
26	1	Low	20	0.05	4	0.07	0.97
27	1	Low	20	0.05	5	0.083	1.15
28	1	Low	20	0.05	6	0.089	1.23
29	1	Low	20	0.05	7	0.087	1.20
30	1	Low	20	0.05	8	0.105	1.45
31	1	Low	30	0	4	0.05	0.69
32	1	Low	30	0	5	0.065	0.90
33	1	Low	30	0	6	0.071	0.98
34	1	Low	30	0	7	0.089	1.23
35	1	Low	30	0	8	0.096	1.33
36	1	Low	30	0.01	4	0.07	0.95
37	1	Low	30	0.01	5	0.07	0.98
38	1	Low	30	0.01	6	0.09	1.17
39	1	Low	30	0.01	7	0.10	1.41
40	1	Low	30	0.01	8	0.12	1.59
41	1	Low	30	0.05	4	0.05	0.68
42	1	Low	30	0.05	5	0.07	0.92
43	1	Low	30	0.05	6	0.07	0.95
44	1	Low	30	0.05	7	0.07	0.98
45	1	Low	30	0.05	8	0.08	1.10
46	1	Low	40	0	4	0.09	1.24
47	1	Low	40	0	5	0.09	1.30
48	1	Low	40	0	6	0.10	1.41
49	1	Low	40	0	7	0.10	1.44
50	1	Low	40	0	8	0.13	1.73
51	1	Low	40	0.01	4	0.06	0.87
52	1	Low	40	0.01	5	0.09	1.26
53	1	Low	40	0.01	6	0.12	1.61

54	1	Low	40	0.01	7	0.13	1.73
55	1	Low	40	0.01	8	0.17	2.37
56	1	Low	40	0.05	4	0.07	0.90
57	1	Low	40	0.05	5	0.09	1.17
58	1	Low	40	0.05	6	0.12	1.67
59	1	Low	40	0.05	7	0.14	1.99
60	1	Low	40	0.05	8	0.13	1.82
61	1	Low	50	0	4	0.10	1.33
62	1	Low	50	0	5	0.16	2.25
63	1	Low	50	0	6	0.21	2.93
64	1	Low	50	0	7	0.22	3.00
65	1	Low	50	0	8	0.29	3.98
66	1	Low	50	0.01	4	0.05	0.69
67	1	Low	50	0.01	5	0.06	0.76
68	1	Low	50	0.01	6	0.08	1.05
69	1	Low	50	0.01	7	0.16	2.22
70	1	Low	50	0.01	8	0.17	2.32
71	1	Low	50	0.05	4	0.19	2.62
72	1	Low	50	0.05	5	0.177	2.44
73	1	Low	50	0.05	6	0.126	1.74
74	1	Low	50	0.05	7	0.159	2.19
75	1	Low	50	0.05	8	0.161	2.22
76	1	Medium	10	0	4	0.001	0.01
77	1	Medium	10	0	5	0.002	0.03
78	1	Medium	10	0	6	0.005	0.07
79	1	Medium	10	0	7	0.007	0.10
80	1	Medium	10	0	8	0.01	0.14
81	1	Medium	10	0.01	4	0.012	0.17
82	1	Medium	10	0.01	5	0.013	0.18



83	1	Medium	10	0.01	6	0.015	0.21
84	1	Medium	10	0.01	7	0.018	0.25
85	1	Medium	10	0.01	8	0.023	0.32
86	1	Medium	10	0.05	4	0.018	0.25
87	1	Medium	10	0.05	5	0.021	0.29
88	1	Medium	10	0.05	6	0.025	0.35
89	1	Medium	10	0.05	7	0.026	0.36
90	1	Medium	10	0.05	8	0.026	0.36
91	1	Medium	20	0	4	0.03	0.40
92	1	Medium	20	0	5	0.03	0.44
93	1	Medium	20	0	6	0.04	0.51
94	1	Medium	20	0	7	0.04	0.59
95	1	Medium	20	0	8	0.05	0.68
96	1	Medium	20	0.01	4	0.024	0.33
97	1	Medium	20	0.01	5	0.032	0.44
98	1	Medium	20	0.01	6	0.036	0.50
99	1	Medium	20	0.01	7	0.040	0.55
100	1	Medium	20	0.01	8	0.045	0.62
101	1	Medium	20	0.05	4	0.036	0.50
102	1	Medium	20	0.05	5	0.040	0.55
103	1	Medium	20	0.05	6	0.051	0.70
104	1	Medium	20	0.05	7	0.056	0.77
105	1	Medium	20	0.05	8	0.057	0.79
106	1	Medium	30	0	4	0.015	0.21
107	1	Medium	30	0	5	0.020	0.28
108	1	Medium	30	0	6	0.025	0.35
109	1	Medium	30	0	7	0.039	0.54
110	1	Medium	30	0	8	0.044	0.61
111	1	Medium	30	0.01	4	0.03	0.37

112	1	Medium	30	0.01	5	0.03	0.41
113	1	Medium	30	0.01	6	0.04	0.48
114	1	Medium	30	0.01	7	0.05	0.72
115	1	Medium	30	0.01	8	0.09	1.19
116	1	Medium	30	0.05	4	0.03	0.35
117	1	Medium	30	0.05	5	0.03	0.40
118	1	Medium	30	0.05	6	0.03	0.46
119	1	Medium	30	0.05	7	0.05	0.62
120	1	Medium	30	0.05	8	0.05	0.73
121	1	Medium	40	0	4	0.02	0.33
122	1	Medium	40	0	5	0.04	0.54
123	1	Medium	40	0	6	0.07	0.94
124	1	Medium	40	0	7	0.07	0.95
125	1	Medium	40	0	8	0.10	1.35
126	1	Medium	40	0.01	4	0.04	0.50
127	1	Medium	40	0.01	5	0.07	0.90
128	1	Medium	40	0.01	6	0.10	1.38
129	1	Medium	40	0.01	7	0.11	1.46
130	1	Medium	40	0.01	8	0.12	1.71
131	1	Medium	40	0.05	4	0.05	0.62
132	1	Medium	40	0.05	5	0.06	0.83
133	1	Medium	40	0.05	6	0.06	0.83
134	1	Medium	40	0.05	7	0.07	1.02
135	1	Medium	40	0.05	8	0.11	1.52
136	1	Medium	50	0	4	0.09	1.21
137	1	Medium	50	0	5	0.12	1.71
138	1	Medium	50	0	6	0.14	1.92
139	1	Medium	50	0	7	0.15	2.07
140	1	Medium	50	0	8	0.24	3.33

141	1	Medium	50	0.01	4	0.04	0.57
142	1	Medium	50	0.01	5	0.05	0.70
143	1	Medium	50	0.01	6	0.06	0.88
144	1	Medium	50	0.01	7	0.14	1.93
145	1	Medium	50	0.01	8	0.16	2.15
146	1	Medium	50	0.05	4	0.038	0.52
147	1	Medium	50	0.05	5	0.082	1.13
148	1	Medium	50	0.05	6	0.075	1.04
149	1	Medium	50	0.05	7	0.082	1.13
150	1	Medium	50	0.05	8	0.008	0.11
151	1	High	10	0	4	0.002	0.03
152	1	High	10	0	5	0.004	0.06
153	1	High	10	0	6	0.007	0.10
154	1	High	10	0	7	0.010	0.14
155	1	High	10	0	8	0.012	0.17
156	1	High	10	0.01	4	0.009	0.12
157	1	High	10	0.01	5	0.012	0.17
158	1	High	10	0.01	6	0.013	0.18
159	1	High	10	0.01	7	0.012	0.17
160	1	High	10	0.01	8	0.036	0.50
161	1	High	10	0.05	4	0.014	0.19
162	1	High	10	0.05	5	0.019	0.26
163	1	High	10	0.05	6	0.022	0.30
164	1	High	10	0.05	7	0.026	0.36
165	1	High	10	0.05	8	0.044	0.61
166	1	High	20	0	4	0.03	0.37
167	1	High	20	0	5	0.03	0.37
168	1	High	20	0	6	0.03	0.41
169	1	High	20	0	7	0.03	0.47
170	1	High	20	0	8	0.04	0.54

171	1	High	20	0.01	4	0.027	0.37
172	1	High	20	0.01	5	0.028	0.39
173	1	High	20	0.01	6	0.031	0.43
174	1	High	20	0.01	7	0.033	0.46
175	1	High	20	0.01	8	0.038	0.52
176	1	High	20	0.05	4	0.041	0.57
177	1	High	20	0.05	5	0.045	0.62
178	1	High	20	0.05	6	0.045	0.62
179	1	High	20	0.05	7	0.047	0.65
180	1	High	20	0.05	8	0.055	0.76
181	1	High	30	0	4	0.014	0.19
182	1	High	30	0	5	0.018	0.25
183	1	High	30	0	6	0.020	0.28
184	1	High	30	0	7	0.028	0.39
185	1	High	30	0	8	0.039	0.54
186	1	High	30	0.01	4	0.020	0.32
187	1	High	30	0.01	5	0.030	0.39
188	1	High	30	0.01	6	0.030	0.41
189	1	High	30	0.01	7	0.04	0.59
190	1	High	30	0.01	8	0.06	0.88
191	1	High	30	0.05	4	0.02	0.33
192	1	High	30	0.05	5	0.03	0.40
193	1	High	30	0.05	6	0.03	0.41
194	1	High	30	0.05	7	0.04	0.50
195	1	High	30	0.05	8	0.05	0.70
196	1	High	40	0	4	0.02	0.32
197	1	High	40	0	5	0.03	0.41
198	1	High	40	0	6	0.04	0.48
199	1	High	40	0	7	0.07	0.91
200	1	High	40	0	8	0.09	1.20

201	1	High	40	0.01	4	0.04	0.48
202	1	High	40	0.01	5	0.041	0.57
203	1	High	40	0.01	6	0.040	0.51
204	1	High	40	0.01	7	0.06	0.76
205	1	High	40	0.01	8	0.10	1.38
206	1	High	40	0.05	4	0.03	0.43
207	1	High	40	0.05	5	0.04	0.52
208	1	High	40	0.05	6	0.05	0.62
209	1	High	40	0.05	7	0.05	0.75
210	1	High	40	0.05	8	0.08	1.05
211	1	High	50	0	4	0.04	0.55
212	1	High	50	0	5	0.12	1.59
213	1	High	50	0	6	0.14	1.86
214	1	High	50	0	7	0.14	1.99
215	1	High	50	0	8	0.14	1.93
216	1	High	50	0.01	4	0.04	0.52
217	1	High	50	0.01	5	0.05	0.65
218	1	High	50	0.01	6	0.05	0.72
219	1	High	50	0.01	7	0.11	1.55
220	1	High	50	0.01	8	0.10	1.40
221	1	High	50	0.05	4	0.016	0.22
222	1	High	50	0.05	5	0.058	0.80
223	1	High	50	0.05	6	0.076	1.05
224	1	High	50	0.05	7	0.087	1.20
225	1	High	50	0.05	8	0.099	1.37

Dónde:

UV<sub>254</sub>: Absorbancia Ultravioleta (cm<sup>-1</sup>)

DOC: Carbono Orgánico Disuelto (mg/L)

**Anexo B**

**Capacidad de Adsorción de las Fuentes (Aguas Naturales)**

**B.1 Capacidad de Adsorción Boaco**

**Tabla B.1** Lectura de Capacidad de Adsorción (Boaco).

<b>Boaco (DOC 2.30 mg/L)</b>					
		<b>Vol (L): 0.2</b>	<b>Masa (g): 0.2</b>		
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>			
		3 h	22.5 h	44.5 h	68.5 h
1	4	1.90	1.94	1.97	2.09
2	5	1.65	1.76	1.91	1.95
3	6	1.33	1.28	1.53	1.70
4	7	0.82	0.96	1.32	1.50
5	8	0.70	0.89	0.99	1.32
6	4	1.97	2.09	2.16	2.23
7	5	1.53	1.77	1.77	1.94
8	6	1.04	1.15	1.37	1.66
9	7	1.04	1.15	1.37	1.66
10	8	0.52	0.93	1.24	1.57
11	4	2.08	2.06	2.13	2.26
12	5	1.72	1.97	2.12	2.23
13	6	1.54	1.58	1.75	1.90
14	7	1.14	1.26	1.36	1.68
15	8	0.35	0.59	1.26	1.66

## B.2 Capacidad de Adsorción Juigalpa

**Tabla B.2** Lectura de Capacidad de Adsorción (Juigalpa).

<b>Juigalpa (DOC 2.00 mg/L)</b>				
<b>Vol (L): 0.2</b>		<b>Masa (g): 0.2</b>		
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>		
		3 h	22.5 h	44.5 h
1	4	0.98	1.28	1.67
2	5	0.91	1.24	1.64
3	6	1.00	1.10	1.70
4	7	1.23	1.37	1.46
5	8	0.18	0.30	1.21
6	4	1.13	1.59	1.89
7	5	0.75	1.05	1.77
8	6	0.69	0.91	1.49
9	7	0.69	0.91	1.49
10	8	0.66	0.80	1.21
11	4	1.65	1.84	1.92
12	5	1.66	1.82	1.94
13	6	1.41	1.45	1.90
14	7	1.60	1.75	1.90
15	8	1.44	1.27	1.74

### B.3 Capacidad de Adsorción Ocotal

**Tabla B.3** Lectura de Capacidad de Adsorción (Ocotal).

<b>Ocotal (DOC 2.50 mg/L)</b>						
<b>Vol (L):</b>		<b>Masa (g): 0.2</b>				
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>				
		1h	4h	28 h	52h	106 h
1	4	1.79	1.89	1.97	2.10	2.25
2	5	1.59	1.60	2.04	2.06	2.21
3	6	1.34	1.77	1.82	1.92	2.00
4	7	1.61	1.64	1.99	2.02	1.95
5	8	1.09	1.15	1.33	1.50	1.79
6	4	1.81	1.89	1.97	2.13	2.37
7	5	1.85	2.07	2.10	2.31	2.36
8	6	1.82	1.97	2.21	2.26	2.35
9	7	1.68	1.70	1.88	2.04	2.11
10	8	1.27	1.52	1.59	1.79	1.96
11	4	1.79	2.04	2.11	2.24	2.35
12	5	1.99	2.08	2.13	2.21	2.33
13	6	0.98	1.64	1.70	1.93	2.24
14	7	1.60	1.79	2.06	2.19	2.22
15	8	1.69	1.98	1.98	2.04	2.21



**Anexo C**

**Capacidad de Adsorción, Agua Preparada**

**C.1 Ácido Húmico 10 mg/L**

**Tabla C.1.1 Ácido Húmico 10 mg/L (0.00 M NaCl).**

<b>DOC (3.53 mg/L) + Fuerza Iónica (0.00 M NaCl)</b>									
<b>Vol (L):0.2</b>		<b>Masa (g): 0.2</b>							
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>							
		0.17 h	3.17 h	5.17 h	7.17 h	8.17 h	11.17 h	50 h	70 h
1	4	1.52	2.32	2.51	2.64	2.77	3.04	3.20	3.34
2	5	1.39	2.22	2.47	2.58	2.64	2.71	3.19	3.31
3	6	1.24	1.99	2.39	2.46	2.54	2.59	3.17	3.19
4	7	0.84	1.70	2.37	2.18	2.25	2.47	3.16	3.19
5	8	0.52	0.88	1.24	2.00	2.08	2.14	2.53	2.98
6	4	2.19	2.82	3.11	3.23	3.30	3.35	3.52	3.52
7	5	2.11	2.66	2.75	2.98	3.19	3.33	3.51	3.51
8	6	2.08	2.54	2.73	2.95	3.08	3.30	3.46	3.46
9	7	1.95	2.42	2.72	2.82	2.93	3.09	3.42	3.44
10	8	1.15	2.33	2.50	2.59	2.77	2.90	3.33	3.40
11	4	2.58	2.90	3.20	3.31	3.37	3.41	3.46	3.51
12	5	2.48	2.77	2.84	3.09	3.30	3.37	3.42	3.48
13	6	2.42	2.72	2.80	3.00	3.20	3.34	3.38	3.44
14	7	2.37	2.61	2.82	2.97	3.09	3.22	3.33	3.40
15	8	2.26	2.51	2.71	2.76	3.02	3.15	3.27	3.37

**Tabla C.1.2** Ácido Húmico 10 mg/L (0.01 M NaCl).

<b>DOC (3.64 mg/L) + Fuerza Iónica (0.01 M NaCl)</b>							
<b>Vol (L): 0.2</b>		<b>Masa (g): 0.2</b>					
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>					
		16 h	47.5 h	69 h	91.5 h	99.5 h	131 h
1	4	2.50	2.90	3.02	3.24	3.31	3.41
2	5	2.11	2.82	2.94	3.20	3.29	3.33
3	6	1.96	2.55	2.83	3.17	3.27	3.31
4	7	1.86	2.51	2.61	3.12	3.24	3.29
5	8	1.74	2.37	2.47	3.01	3.20	3.27
6	4	2.98	3.08	3.17	3.41	3.46	3.48
7	5	2.97	3.05	3.06	3.38	3.44	3.46
8	6	2.88	2.98	3.04	3.33	3.40	3.44
9	7	2.88	2.90	3.04	3.29	3.34	3.40
10	8	2.36	2.46	2.53	2.90	3.24	3.33
11	4	2.98	3.09	3.19	3.44	3.46	3.52
12	5	2.88	3.04	3.13	3.41	3.45	3.48
13	6	2.86	3.04	3.11	3.34	3.42	3.46
14	7	2.66	2.93	3.08	3.31	3.38	3.48
15	8	2.37	2.54	2.83	2.95	3.01	3.15

**Tabla C.1.3** Ácido Húmico 10 mg/L (0.05 M NaCl).

<b>DOC (3.78 mg/L) + Fuerza Iónica (0.05 M NaCl)</b>							
<b>Vol (L): 0.2</b>			<b>Masa (g): 0.2</b>				
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>					
		16 h	47.5 h	69 h	91.5 h	99.5 h	131 h
1	4	2.93	3.09	3.19	3.37	3.49	3.59
2	5	2.46	2.90	3.06	3.17	3.29	3.34
3	6	1.52	2.37	2.79	3.16	3.26	3.29
4	7	1.30	2.11	2.58	3.05	3.16	3.24
5	8	1.26	1.75	2.44	3.05	3.12	3.16
6	4	2.84	3.19	3.24	3.37	3.49	3.53
7	5	2.76	3.13	3.22	3.30	3.42	3.49
8	6	2.73	3.12	3.17	3.26	3.41	3.44
9	7	2.66	3.00	3.16	3.22	3.33	3.42
10	8	2.58	2.93	3.01	3.13	3.26	3.42
11	4	2.86	3.22	3.29	3.48	3.53	3.59
12	5	2.83	3.19	3.23	3.46	3.49	3.52
13	6	2.79	3.11	3.22	3.26	3.45	3.48
14	7	2.44	3.02	3.15	3.20	3.42	3.42
15	8	2.13	2.87	3.02	2.97	3.15	3.17

**C.2 Ácido Húmico 20 mg/L**

**Tabla C.2.1** Ácido Húmico 20 mg/L (0.00 M NaCl).

<b>DOC (6.92 mg/L) + Fuerza Iónica (0.00 M NaCl)</b>							
<b>Vol (L): 0.2</b>				<b>Masa (g): 0.2</b>			
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>					
		4 h	14.5 h	38.5 h	74 h	96 h	118 h
1	4	4.21	4.47	5.51	5.78	5.88	5.95
2	5	3.81	4.28	5.31	5.70	5.74	5.84
3	6	3.41	4.21	4.83	5.48	5.60	5.82
4	7	2.19	3.85	4.80	4.97	5.49	5.81
5	8	1.59	3.69	4.31	4.90	5.27	5.51
6	4	4.82	6.05	6.29	6.29	6.46	6.52
7	5	4.75	5.98	6.21	6.28	6.43	6.47
8	6	4.11	5.80	5.49	6.17	6.38	6.40
9	7	3.99	5.44	4.97	6.11	6.17	6.32
10	8	3.96	5.20	5.37	5.62	5.66	6.24
11	4	4.98	6.29	6.45	6.42	6.49	6.54
12	5	4.97	5.94	6.38	6.39	6.40	6.54
13	6	4.90	5.59	6.36	6.36	6.40	6.50
14	7	4.55	5.58	5.70	6.13	6.35	6.45
15	8	3.55	5.04	5.56	5.99	6.20	6.38

**Tabla C.2.2** Ácido Húmico 20 mg/L (0.01 M NaCl).

<b>DOC (7.09 mg/L) + Fuerza Iónica (0.01 M NaCl)</b>						
<b>Vol (L): 0.2</b>			<b>Masa (g): 0.2</b>			
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>				
		22.5 h	52 h	73.5 h	101 h	122 h
1	4	6.06	6.39	6.39	6.47	6.57
2	5	5.42	6.09	6.18	6.31	6.49
3	6	4.94	5.99	6.06	6.11	6.24
4	7	4.91	5.92	5.96	5.99	6.03
5	8	3.27	5.69	5.80	5.92	5.98
6	4	6.42	6.61	6.67	6.75	6.76
7	5	6.39	6.47	6.50	6.54	6.65
8	6	6.28	6.47	6.47	6.49	6.60
9	7	6.17	6.40	6.43	6.47	6.54
10	8	5.95	6.18	6.38	6.46	6.47
11	4	6.50	6.58	6.63	6.69	6.72
12	5	6.49	6.57	6.58	6.65	6.71
13	6	6.40	6.54	6.58	6.60	6.67
14	7	6.36	6.47	6.56	6.60	6.64
15	8	6.06	6.28	6.31	6.47	6.57

**Tabla C.2.3** Ácido Húmico 20 mg/L (0.05 M NaCl).

<b>DOC (7.55 mg/L) + Fuerza Iónica (0.05 M NaCl)</b>						
<b>Vol (L): 0.2</b>			<b>Masa (g): 0.2</b>			
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo(h)</b>				
		22 h	52 h	72.75 h	99.5 h	120 h
1	4	6.47	6.47	6.54	6.58	6.58
2	5	5.59	5.62	6.27	6.28	6.40
3	6	3.99	5.47	5.91	6.18	6.32
4	7	3.93	4.87	5.36	6.18	6.35
5	8	3.45	3.85	4.86	5.18	6.10
6	4	6.72	6.83	6.89	6.97	7.05
7	5	6.72	6.82	6.86	6.92	7.00
8	6	6.52	6.63	6.74	6.76	6.85
9	7	6.32	6.57	6.74	6.75	6.78
10	8	6.18	6.42	6.54	6.74	6.76
11	4	6.76	6.83	6.85	6.89	6.98
12	5	6.61	6.79	6.82	6.87	6.93
13	6	6.60	6.72	6.80	6.87	6.93
14	7	6.56	6.64	6.78	6.83	6.90
15	8	6.18	6.49	6.67	6.71	6.79

**C.3 Ácido Húmico 30 mg/L**

**Tabla C.3.1 Ácido Húmico 30 mg/L (0.00 M NaCl).**

<b>DOC (9.80 mg/L) + Fuerza Iónica (0.00 M NaCl)</b>										
<b>Vol (L): 0.2</b>					<b>Masa (g): 0.2</b>					
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>								
		12h	17h	38h	62h	86h	110h	134h	182h	230h
1	4	5.87	6.32	7.78	7.98	8.48	8.67	8.88	9.11	9.11
2	5	4.62	5.56	7.63	7.90	8.41	8.63	8.70	8.90	8.90
3	6	4.51	5.41	6.72	7.58	8.35	8.38	8.64	8.67	8.82
4	7	3.77	5.33	6.27	7.54	8.06	8.35	8.54	8.57	8.57
5	8	2.72	2.94	5.74	7.08	8.02	8.34	8.41	8.43	8.48
6	4	7.85	8.01	8.20	8.78	9.08	9.23	9.44	9.57	9.59
7	5	7.33	7.51	7.99	8.65	8.92	9.22	9.37	9.50	9.52
8	6	7.11	7.40	8.13	8.60	8.82	9.01	9.23	9.34	9.46
9	7	6.29	7.00	8.19	8.36	8.72	8.99	9.21	9.34	9.26
10	8	5.76	6.06	7.98	8.20	8.41	8.41	8.41	8.97	9.19
11	4	7.98	8.23	9.25	9.39	9.44	9.44	9.50	9.59	9.61
12	5	7.41	7.83	9.12	9.14	9.32	9.30	9.41	9.52	9.55
13	6	7.37	7.72	8.94	9.07	9.22	9.22	9.25	9.40	9.52
14	7	6.98	7.18	8.59	8.99	9.18	9.23	9.23	9.37	9.41
15	8	5.94	6.39	8.46	8.97	9.18	9.22	9.22	9.23	9.26

**Tabla C.3.2** Ácido Húmico 30 mg/L (0.01 M NaCl).

<b>DOC (10.50 mg/L) + Fuerza Iónica (0.01 M NaCl)</b>									
<b>Vol (L): 0.2</b>			<b>Masa (g): 0.2</b>						
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>							
		5 h	21 h	45 h	69 h	93 h	117 h	165 h	213 h
1	4	5.55	7.94	8.72	9.32	9.37	9.62	9.26	9.55
2	5	3.27	7.40	8.43	9.03	9.26	9.40	9.44	9.52
3	6	3.17	7.18	8.21	9.00	9.08	9.12	9.26	9.33
4	7	3.04	5.42	7.98	8.65	8.41	8.89	9.14	9.10
5	8	2.76	4.98	7.27	8.14	8.35	8.88	9.12	8.92
6	4	7.22	9.10	9.91	9.97	10.03	10.08	10.12	10.13
7	5	6.76	9.05	9.47	9.94	10.01	10.03	10.09	10.09
8	6	6.16	8.30	9.39	9.62	9.65	9.91	10.01	10.02
9	7	5.56	8.25	8.75	9.18	9.47	9.59	9.80	9.79
10	8	5.52	8.09	8.63	8.72	9.28	9.30	9.32	9.32
11	4	8.13	9.86	9.98	10.01	10.09	10.13	10.16	10.19
12	5	7.72	9.26	9.97	9.98	10.05	10.09	10.08	10.12
13	6	6.69	9.01	9.69	9.95	9.98	9.98	10.01	10.09
14	7	6.13	8.79	9.22	9.52	9.58	9.63	9.83	9.91
15	8	5.52	8.60	9.15	9.50	9.54	9.46	9.55	9.62



**Tabla C.3.3** Ácido Húmico 30 mg/L (0.05 M NaCl).

<b>DOC (11.20 mg/L) + Fuerza Iónica (0.05 M NaCl)</b>							
<b>Vol (L): 0.2</b>		<b>Masa (g): 0.2</b>					
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>					
		24 h	48 h	96 h	168 h	216 h	312 h
1	4	8.19	9.96	10.01	10.25	10.28	10.52
2	5	8.05	9.68	9.92	10.21	10.21	10.28
3	6	7.92	9.32	9.89	10.14	10.18	10.25
4	7	7.05	9.27	9.89	9.92	10.15	10.22
5	8	6.36	6.51	9.68	9.81	9.92	10.10
6	4	8.41	10.58	10.69	10.81	10.87	10.86
7	5	8.15	10.33	10.61	10.76	10.80	10.80
8	6	8.00	10.19	10.48	10.62	10.66	10.75
9	7	7.86	9.86	10.33	10.48	10.58	10.58
10	8	7.71	9.38	10.14	10.37	10.33	10.47
11	4	8.72	10.87	10.86	10.86	10.86	10.87
12	5	8.27	10.69	10.66	10.76	10.83	10.80
13	6	8.03	10.32	10.47	10.72	10.75	10.79
14	7	7.89	10.22	10.46	10.54	10.62	10.70
15	8	7.89	9.95	10.17	10.43	10.51	10.50

**C.4 Ácido Húmico 40 mg/L**

**Tabla C.4.1** Ácido Húmico 40 mg/L (0.00 M NaCl).

<b>DOC (13.20 mg/L) + Fuerza Iónica (0.00 M NaCl)</b>						
<b>Vol (L): 0.2</b>			<b>Masa (g): 0.2</b>			
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>				
		24 h	72 h	144 h	192 h	288 h
1	4	9.72	11.08	11.37	11.53	11.95
2	5	9.07	10.95	11.29	11.54	11.90
3	6	9.05	10.71	11.19	10.85	11.79
4	7	8.96	10.67	11.15	11.37	11.76
5	8	6.36	10.37	10.86	11.42	11.47
6	4	10.12	11.43	12.11	12.84	12.86
7	5	9.91	10.53	12.06	12.55	12.66
8	6	9.22	10.39	11.35	11.90	12.26
9	7	9.00	10.35	10.81	11.00	12.24
10	8	8.19	10.32	10.52	10.96	11.84
11	4	10.86	11.59	12.85	12.85	12.88
12	5	10.01	11.19	12.64	12.81	12.78
13	6	9.97	10.88	11.65	12.11	12.71
14	7	9.70	10.77	10.90	11.84	12.28
15	8	8.41	10.38	10.81	11.11	11.99

**Tabla C.4.2** Ácido Húmico 40 mg/L (0.01 M NaCl).

<b>DOC (13.49 mg/L) + Fuerza iónica (0.01 M NaCl)</b>						
<b>Vol (L): 0.2</b>			<b>Masa (g): 0.2</b>			
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>				
		48 h	120h	168 h	216 h	288 h
1	4	11.36	11.99	12.35	12.55	12.62
2	5	10.38	11.47	11.69	11.86	12.23
3	6	10.13	10.96	11.22	11.42	11.87
4	7	9.29	10.85	10.93	11.37	11.76
5	8	7.95	10.32	10.59	10.71	11.11
6	4	11.73	11.99	12.60	12.64	12.99
7	5	10.93	11.86	12.24	12.40	12.59
8	6	10.81	11.77	11.98	12.06	12.11
9	7	10.34	11.64	11.79	11.90	12.02
10	8	10.26	10.75	11.10	11.57	11.77
11	4	12.62	12.82	12.86	12.99	13.00
12	5	11.91	12.70	12.77	12.86	12.92
13	6	11.72	12.66	12.66	12.81	12.97
14	7	11.39	12.40	12.52	12.68	12.73
15	8	11.13	11.66	11.93	12.04	12.11

**Tabla C.4.3** Ácido Húmico 40 mg/L (0.05 M NaCl).

<b>DOC (14.09 mg/L) + Fuerza Iónica (0.05 M NaCl)</b>						
<b>Vol (L): 0.2</b>			<b>Masa (g): 0.2</b>			
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>				
		24 h	96 h	144 h	192 h	264 h
1	4	10.23	12.59	12.71	12.96	13.20
2	5	10.06	12.17	12.71	12.95	12.92
3	6	8.57	12.04	12.41	12.68	12.42
4	7	7.80	11.43	11.77	12.41	12.11
5	8	7.58	10.88	11.37	12.17	12.27
6	4	11.64	13.21	13.31	13.36	13.47
7	5	11.54	12.96	13.06	13.35	13.26
8	6	10.86	12.52	13.02	13.02	13.26
9	7	10.78	12.15	12.74	13.02	13.07
10	8	10.52	12.04	12.41	12.53	12.57
11	4	12.31	13.38	13.43	13.61	13.66
12	5	12.30	13.04	13.25	13.44	13.57
13	6	11.70	12.82	13.11	13.26	13.47
14	7	11.69	12.56	12.99	13.14	13.35
15	8	11.58	12.35	12.86	12.96	13.04

**C.5 Ácido Húmico 50 mg/L**

**Tabla C.5.1 Ácido Húmico 50 mg/L (0.00 M NaCl).**

<b>DOC (15.70 mg/L) + Fuerza Iónica (0.00 M NaCl)</b>						
<b>Vol (L): 0.2</b>			<b>Masa (g): 0.2</b>			
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>				
		<b>72 h</b>	<b>120 h</b>	<b>168 h</b>	<b>240 h</b>	<b>288 h</b>
1	4	11.33	11.45	12.57	14.03	14.38
2	5	10.54	11.44	11.96	12.46	13.45
3	6	10.26	11.15	11.93	13.27	12.77
4	7	9.90	11.12	11.86	12.75	12.71
5	8	9.56	10.18	11.19	11.62	11.73
6	4	11.59	12.83	12.79	14.11	14.49
7	5	11.49	12.08	12.31	13.80	13.99
8	6	11.26	11.66	12.08	13.60	13.78
9	7	10.73	11.63	11.92	13.31	13.63
10	8	9.74	11.52	11.86	12.40	12.37
11	4	12.75	13.58	14.09	15.02	15.15
12	5	12.33	13.06	13.89	14.02	14.11
13	6	11.33	12.95	13.45	13.67	13.84
14	7	11.13	12.10	13.16	13.41	13.71
15	8	11.00	11.93	12.42	12.44	13.77

**Tabla C.5.2** Ácido Húmico 50 mg/L (0.01 M NaCl).

<b>DOC (15.70 mg/L) + Fuerza Iónica (0.01 M NaCl)</b>						
<b>Vol (L): 0.2</b>			<b>Masa (g): 0.2</b>			
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>				
		72 h	120 h	168 h	240 h	288 h
1	4	13.12	14.06	14.80	14.97	15.01
2	5	12.58	13.96	14.11	14.50	14.94
3	6	11.52	12.79	13.63	14.17	14.65
4	7	9.56	12.36	12.80	13.31	13.48
5	8	8.94	11.82	11.93	12.89	13.38
6	4	13.84	14.28	15.02	15.08	15.13
7	5	12.58	14.09	14.73	14.71	15.00
8	6	11.92	13.06	13.80	14.39	14.82
9	7	11.50	12.61	12.91	13.49	13.77
10	8	11.06	12.07	12.44	12.91	13.55
11	4	14.75	15.12	15.23	15.12	15.18
12	5	13.00	14.47	14.79	14.47	15.05
13	6	12.44	13.64	14.40	14.29	14.98
14	7	11.62	12.86	14.03	14.04	14.15
15	8	11.49	12.44	12.55	12.77	14.30

**Tabla C.5.3** Ácido Húmico 50 mg/L (0.05 M NaCl).

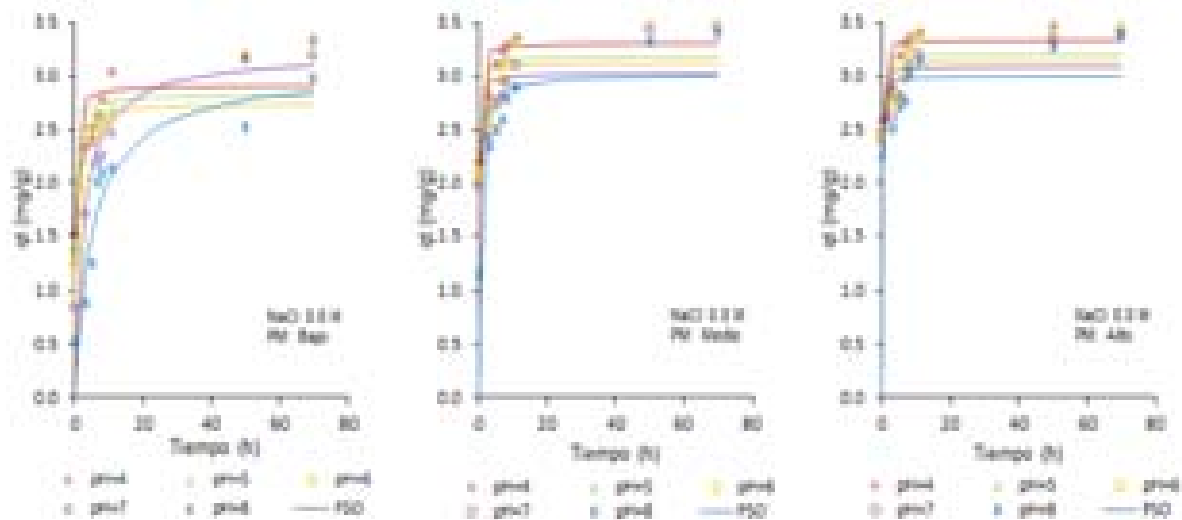
<b>DOC (16.43 mg/L) + Fuerza Iónica (0.05 M NaCl)</b>								
<b>Vol (L): 0.2</b>		<b>Masa (g): 0.2</b>						
<b>i</b>	<b>pH</b>	<b>Tiempo (h)</b>						
		72h	120h	168 h	240 h	288 h	336 h	408 h
1	4	12.42	12.78	13.02	13.47	13.55	13.50	13.80
2	5	12.26	12.42	12.97	13.35	13.60	13.94	13.98
3	6	12.41	12.68	12.77	13.24	14.15	14.31	14.69
4	7	11.73	12.15	13.53	13.68	13.91	14.18	14.23
5	8	11.82	11.93	12.85	13.14	13.42	13.82	14.20
6	4	15.06	15.22	15.39	15.51	15.69	15.86	15.90
7	5	12.97	13.03	13.15	14.38	14.60	14.92	15.29
8	6	14.02	14.30	14.56	14.85	14.92	15.29	15.39
9	7	13.32	13.78	14.49	14.60	14.80	15.18	15.29
10	8	13.95	14.19	14.26	14.37	14.70	14.89	16.32
11	4	15.46	15.47	15.58	15.75	15.91	16.14	16.20
12	5	12.38	13.39	13.47	14.58	14.87	15.16	15.62
13	6	14.13	14.24	14.45	14.55	14.78	15.09	15.38
14	7	12.95	13.25	13.38	14.78	14.81	15.09	15.22
15	8	13.00	13.39	13.78	14.19	14.41	14.63	15.06

Anexo D

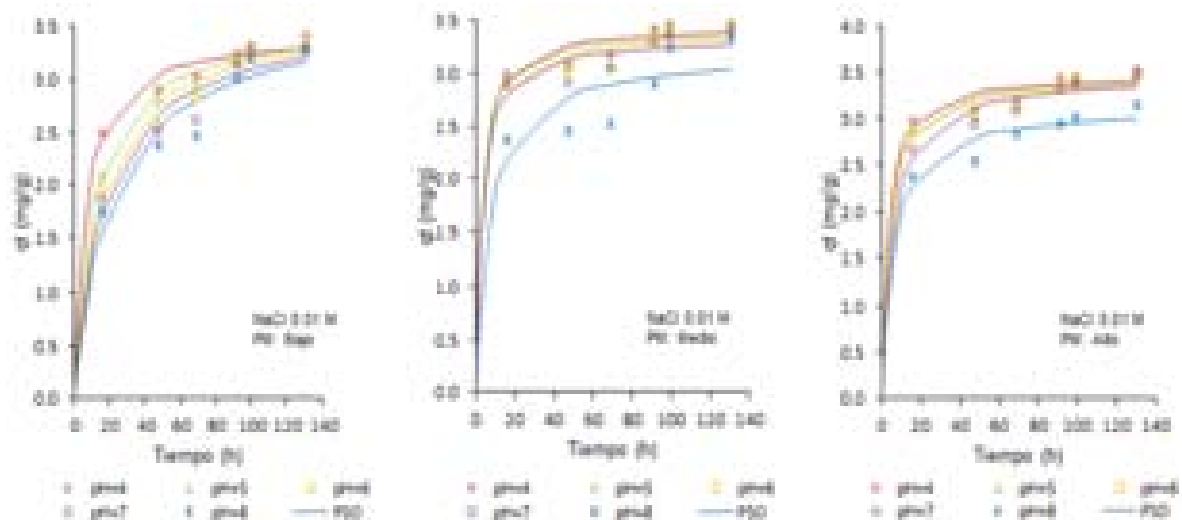
Modelo Cinético Pseudo-Segundo Orden

D.1 Pseudo-Segundo Orden, Ácido Húmico 10 mg/L

10 mg/L (DOC 3.53 mg/L + Fuerza Iónica 0.00 M NaCl)

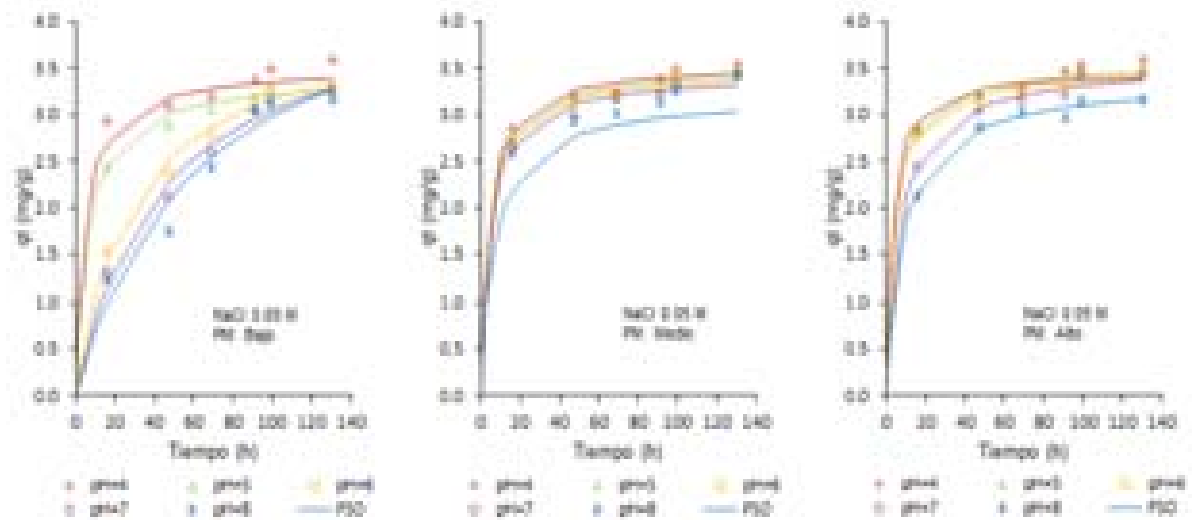


10 mg/L (DOC 3.64 mg/L + Fuerza Iónica 0.01 M NaCl)





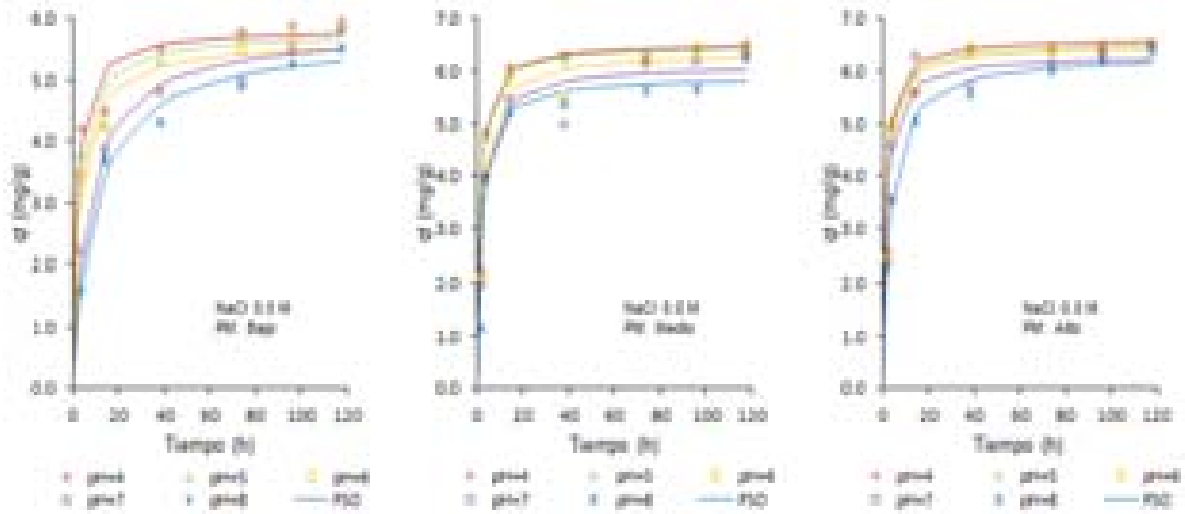
10 mg/L (DOC 3.78 mg/L + Fuerza Iónica 0.05 M NaCl)



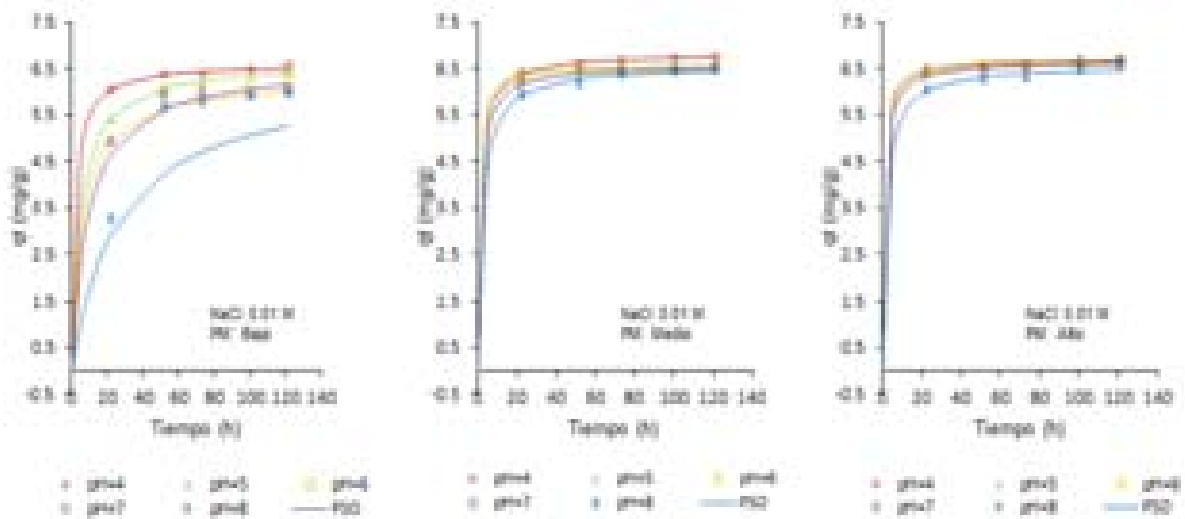
**Figura D.1** Capacidad de Adsorción de Quitosana a diferentes Pesos Moleculares y Fuerza Iónica usando Acido Húmico de 10 mg/L.

## D.2 Pseudo-Segundo Orden, Ácido Húmico 20 mg/L

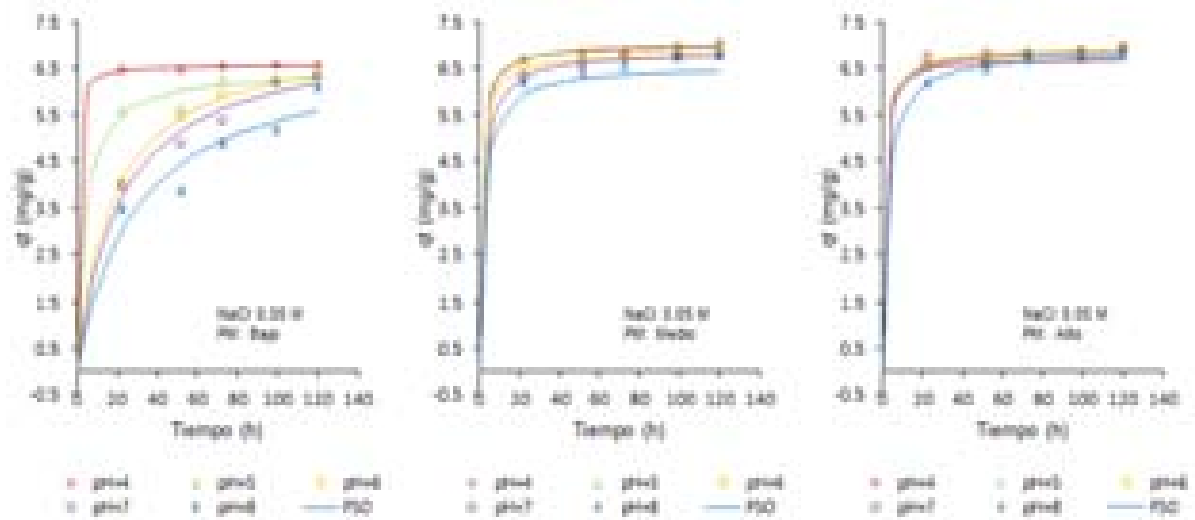
20 mg/L (DOC 6.92 mg/L + Fuerza Iónica 0.00 M NaCl)



20 mg/L (DOC 7.09 mg/L + Fuerza Iónica 0.01 M NaCl)



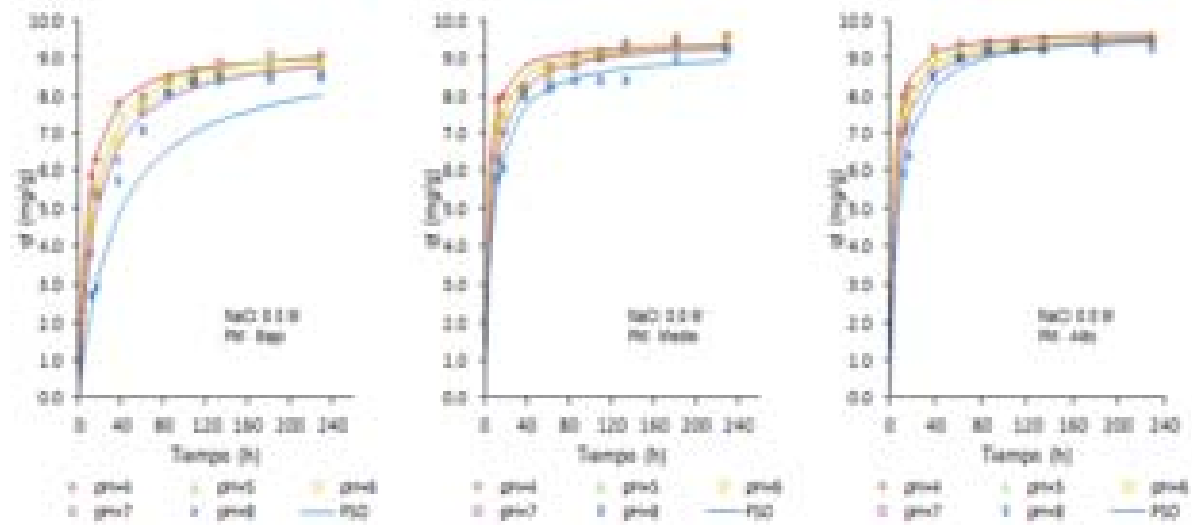
20 mg/L (DOC 7.55 mg/L + Fuerza Iónica 0.05 M NaCl)



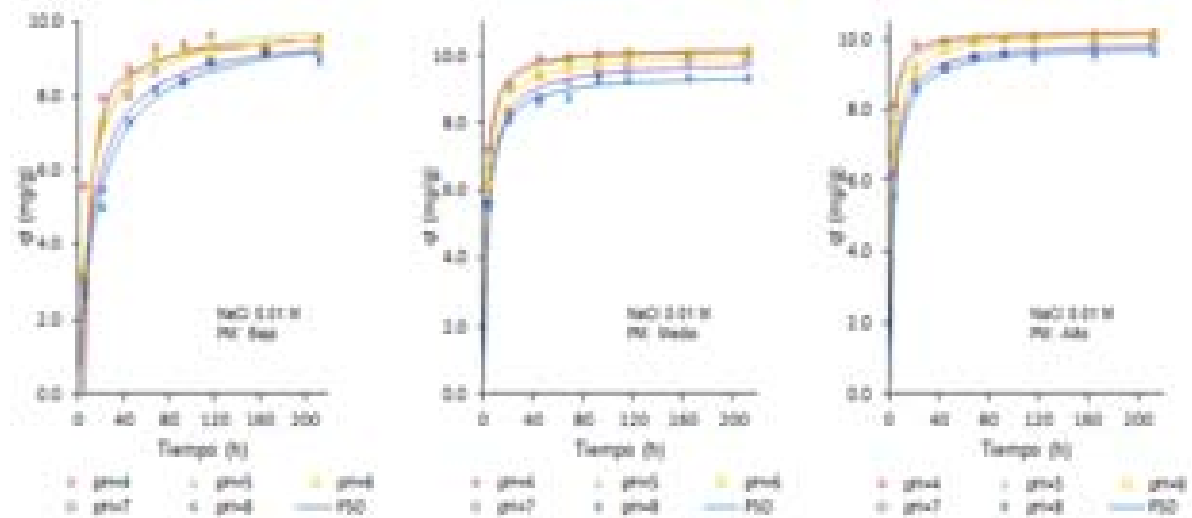
**Figura D.2** Capacidad de Adsorción de Quitosana a diferentes Pesos Moleculares y Fuerza Iónica usando Acido Húmico de 20 mg/L.

### D.3 Pseudo-Segundo Orden, Ácido Húmico 30 mg/L

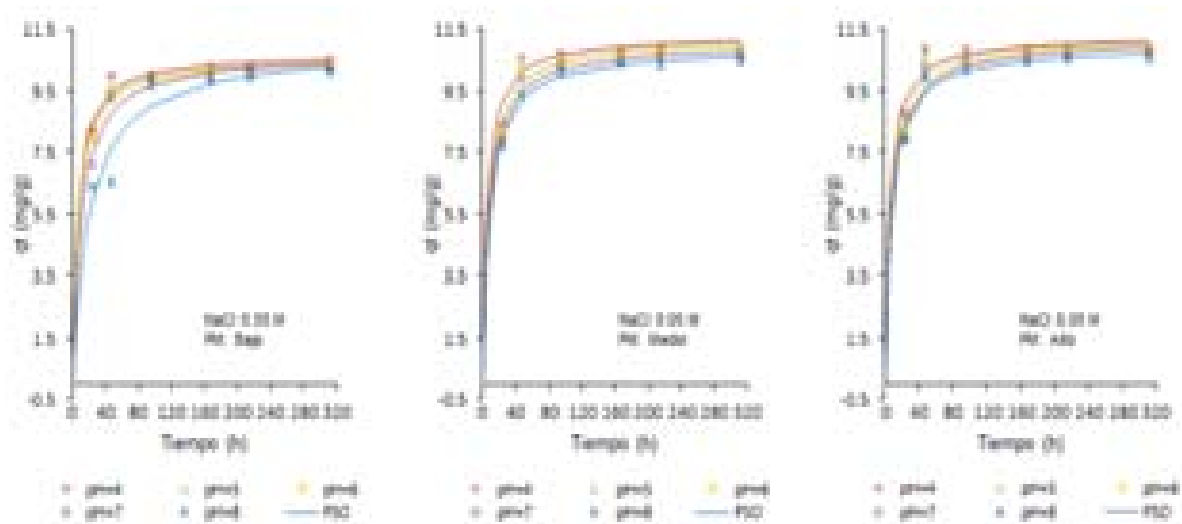
30 mg/L (DOC 9.80 mg/L + Fuerza Iónica 0.00 M NaCl)



30 mg/L (DOC 10.50 mg/L + Fuerza Iónica 0.01 M NaCl)



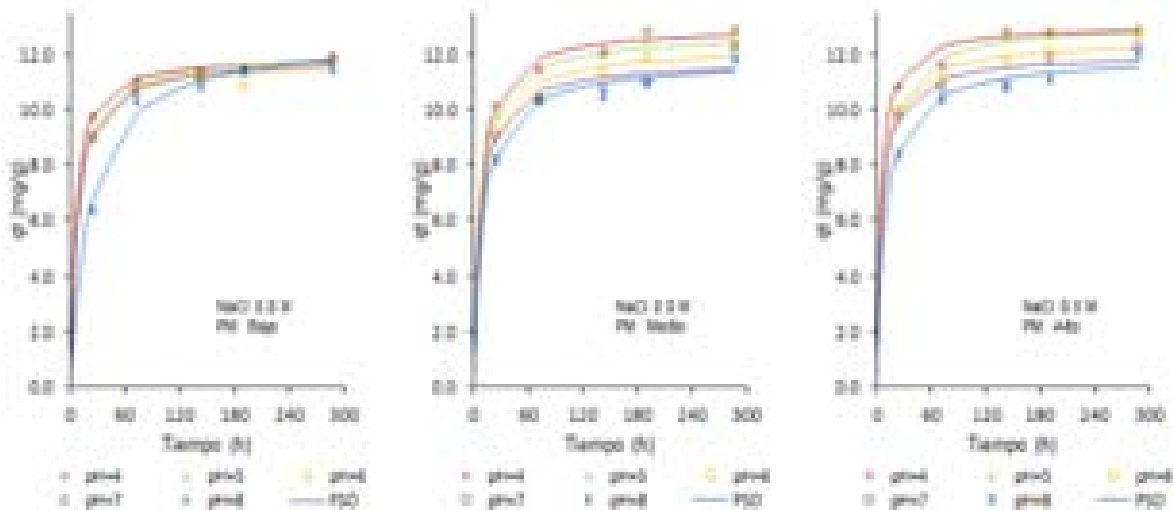
30 mg/L (DOC 11.20 mg/L + Fuerza Iónica 0.05 M NaCl)



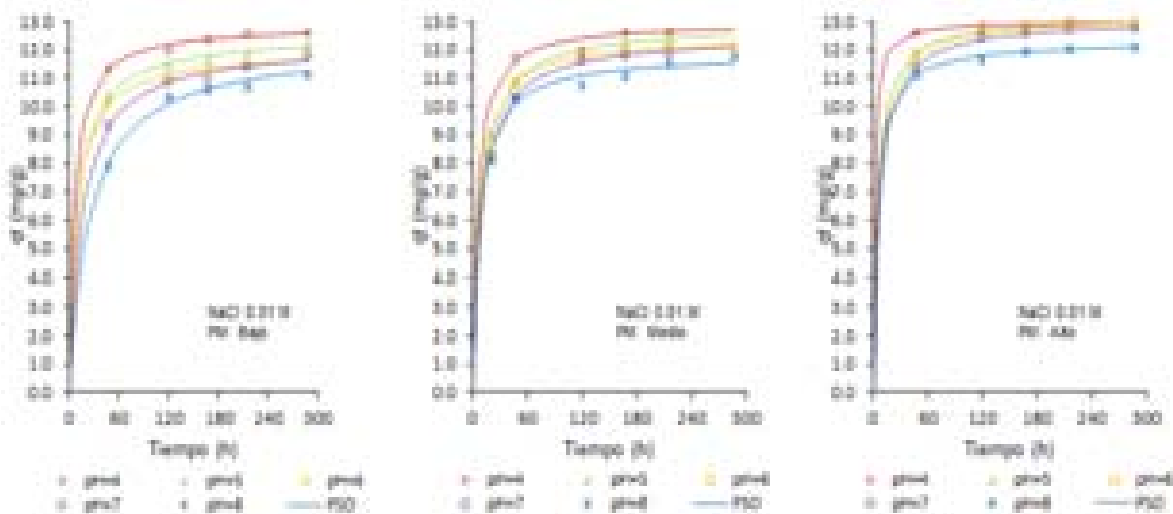
**Figura D.3** Capacidad de Adsorción de Quitosana a diferentes Pesos Moleculares y Fuerza Iónica usando Acido Húmico de 30 mg/L.

### D.4 Pseudo-Segundo Orden, Ácido Húmico 40 mg/L

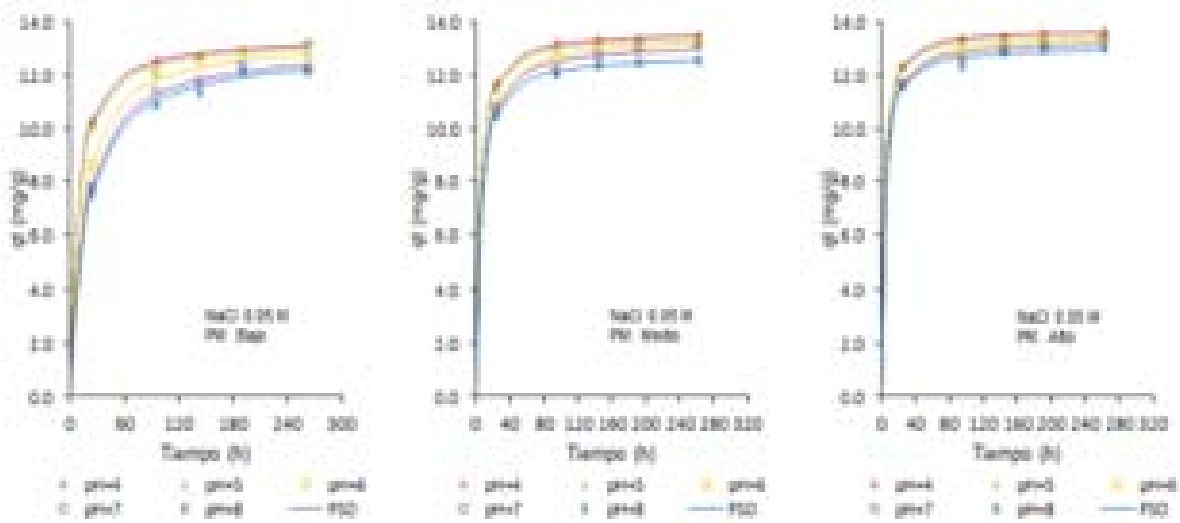
40 mg/L (DOC 13.20 mg/L + Fuerza Iónica 0.00 M NaCl)



40 mg/L (DOC 13.49 mg/L + Fuerza Iónica 0.01 M NaCl)



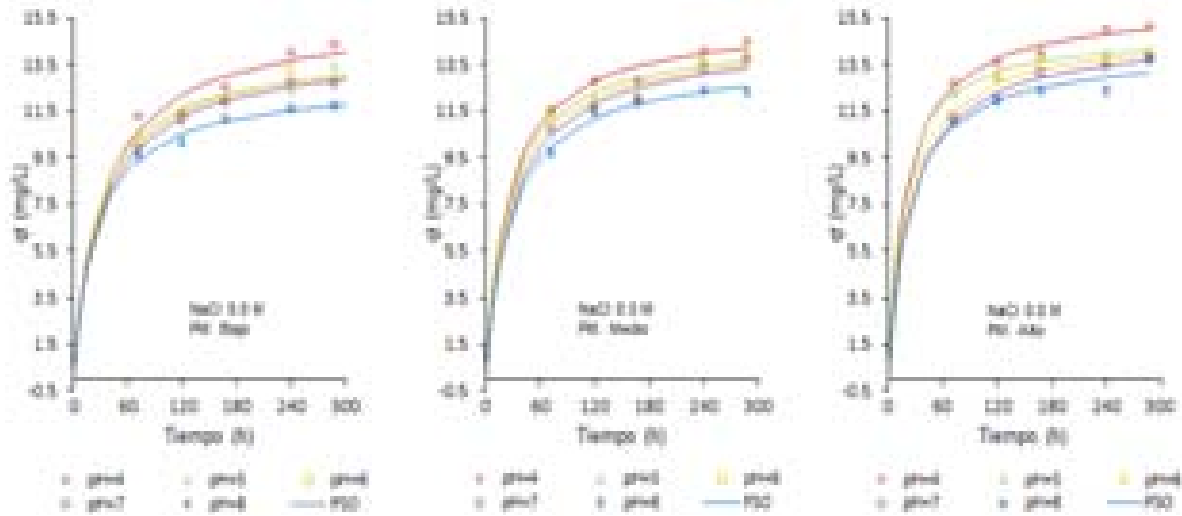
40 mg/L (DOC 14.09 mg/L + Fuerza Iónica 0.05 M NaCl)



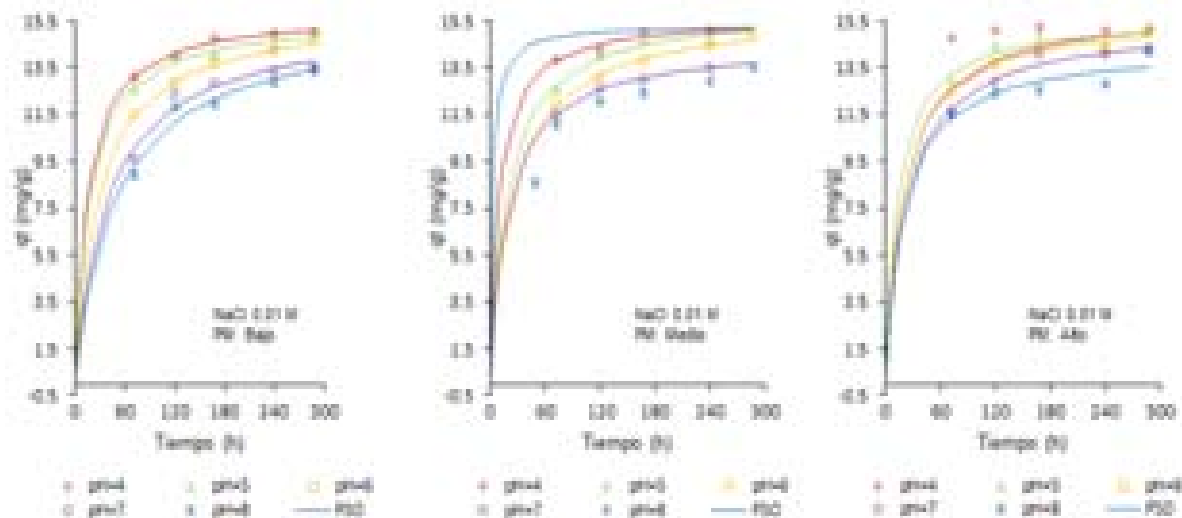
**Figura D.4** Capacidad de Adsorción de Quitosana a diferentes Pesos Moleculares y Fuerza Iónica usando Acido Húmico de 40 mg/L.

### D.5 Pseudo-Segundo Orden, Ácido Húmico 50 mg/L

50 mg/L (DOC 15.70 mg/L + 0.00 Fuerza Iónica M NaCl)

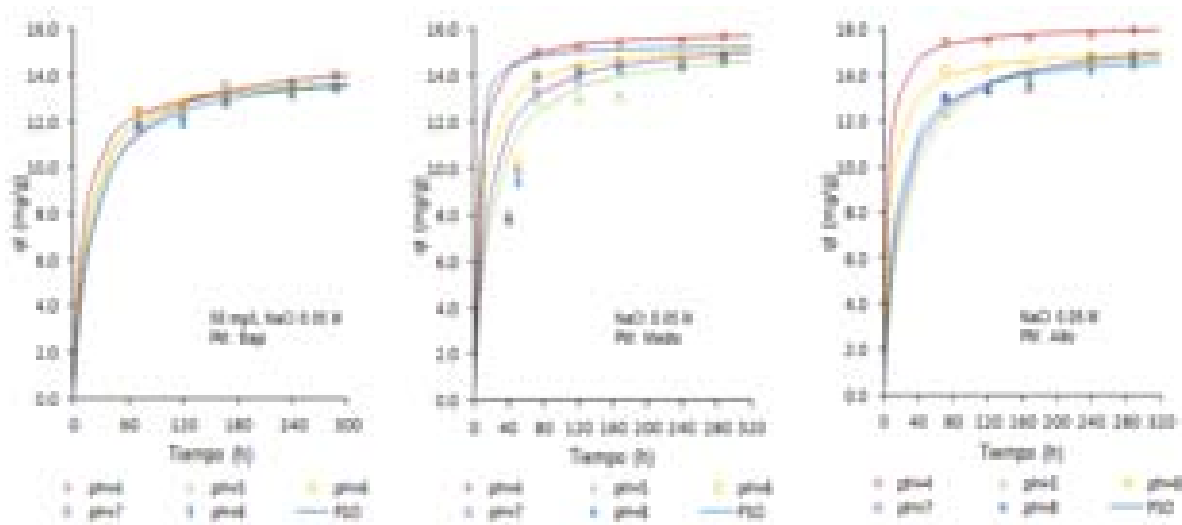


50 mg/L (DOC 15.70 mg/L + Fuerza Iónica 0.01 M NaCl)





50 mg/L (DOC 16.43 mg/L + Fuerza Iónica 0.05 M NaCl)



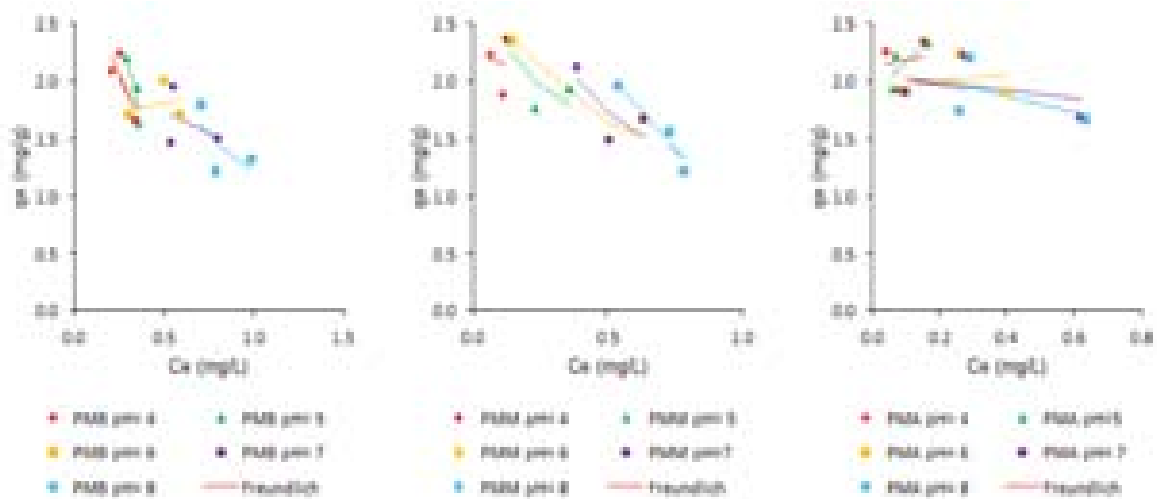
**Figura D.5** Capacidad de Adsorción de Quitosana a diferentes Pesos Moleculares y Fuerza Iónica usando Acido Húmico de 50 mg/L.

Anexo E

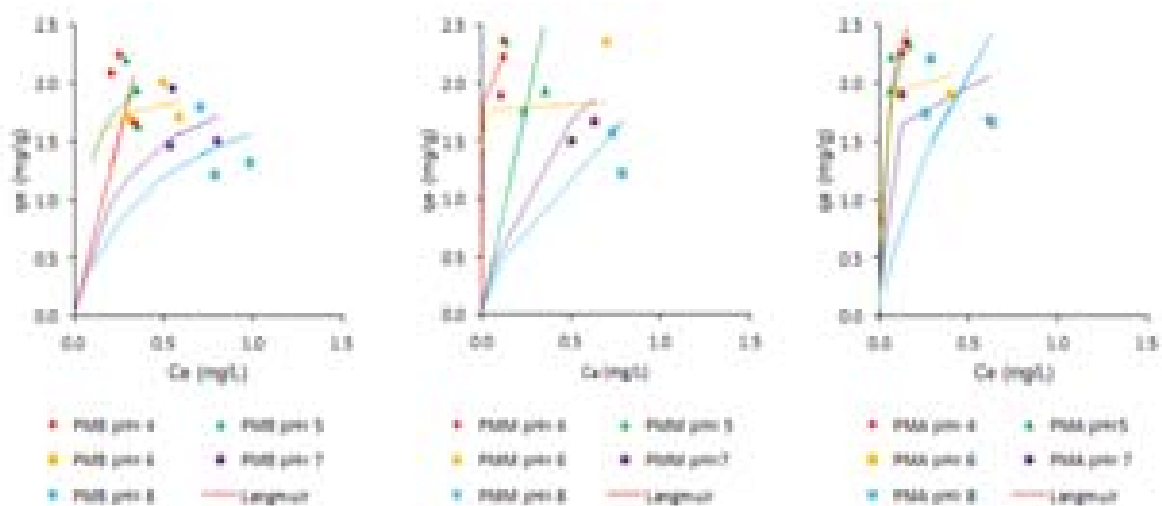
Modelos de Isotermas

Modelo Isoterma, Agua Cruda

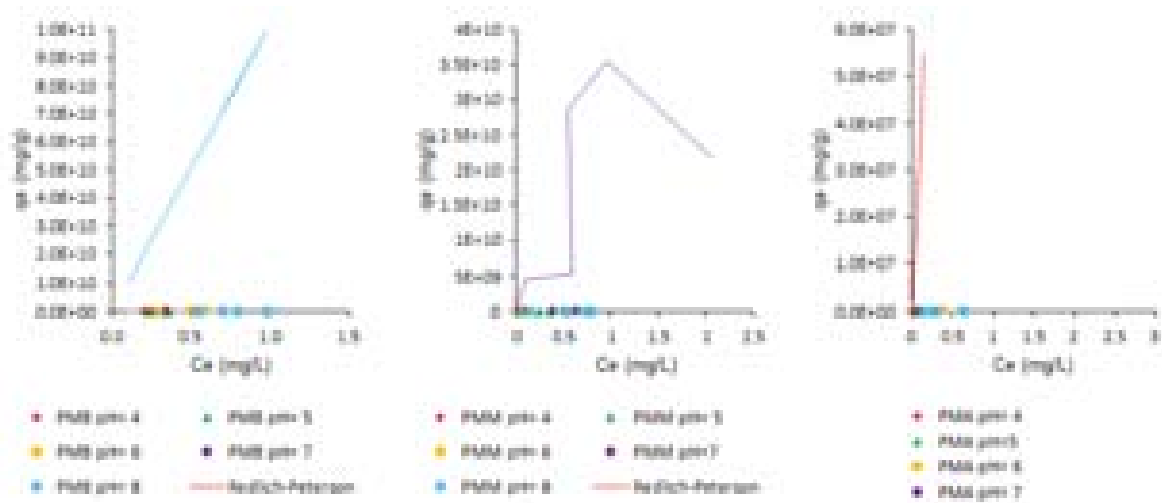
Modelo Freundlich



Modelo Langmuir



**Modelo Redlich-Peterson**



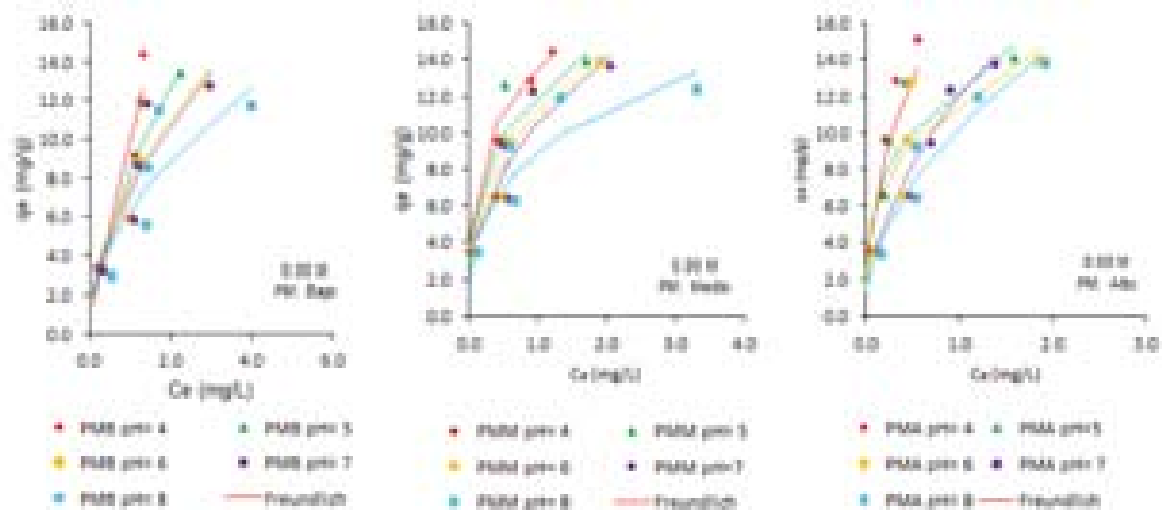
**Figura E.1** Equilibrio de Adsorción de Quitosana a diferentes Pesos Moleculares, Agua Cruda.

### Modelos de Isotermas

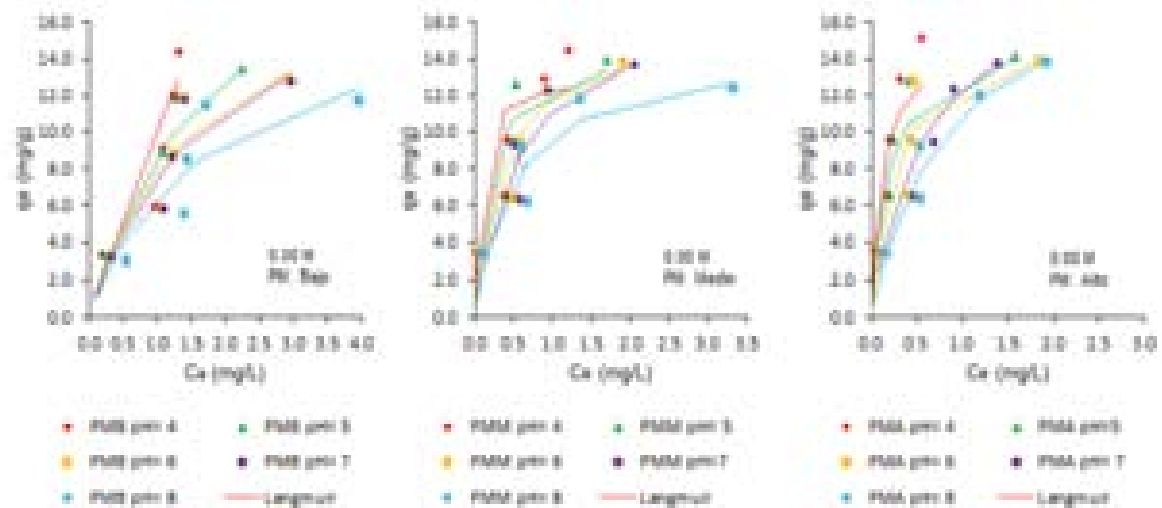
#### Modelo Isoterma, Agua Preparada

##### E.1 Fuerza Iónica 0.00 M

##### Modelo Freundlich



##### Modelo Langmuir



Modelo Redlich-Peterson

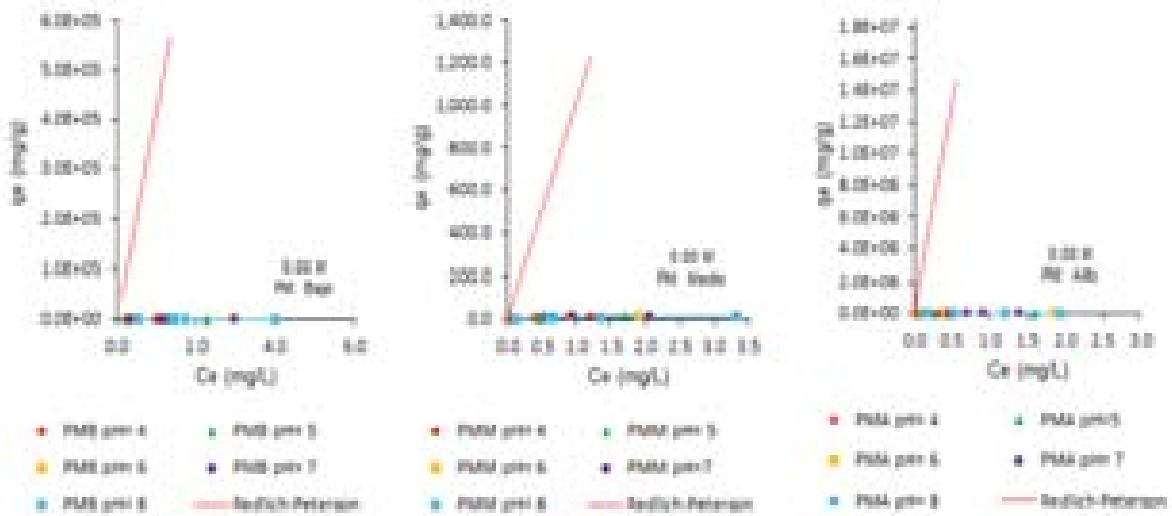
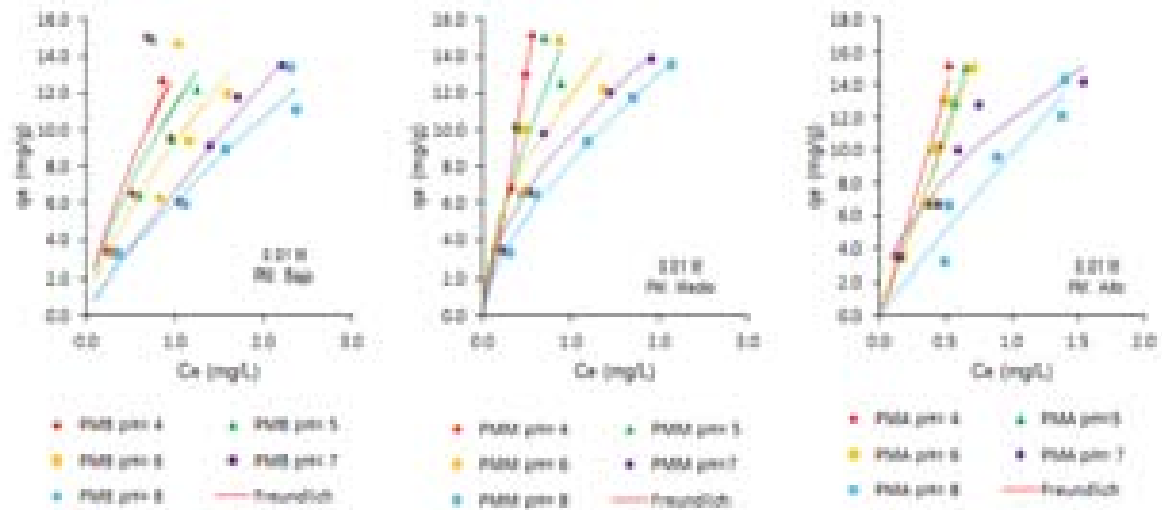


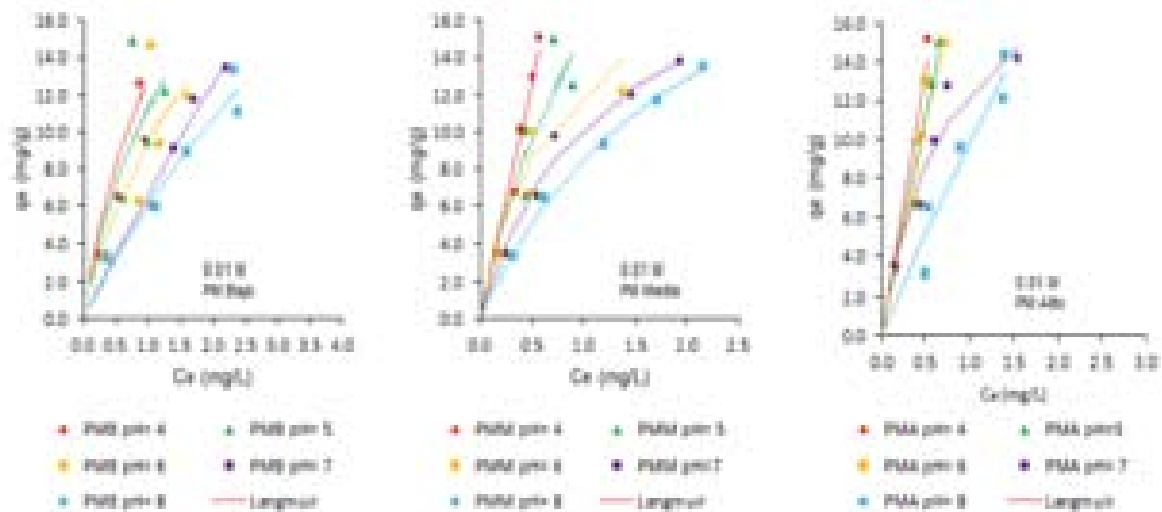
Figura E.2 Equilibrio de Adsorción de Quitosana a diferentes Pesos Moleculares y Fuerza Iónica de 0.00 M, Agua Preparada.

## E.2 Fuerza Iónica 0.01 M

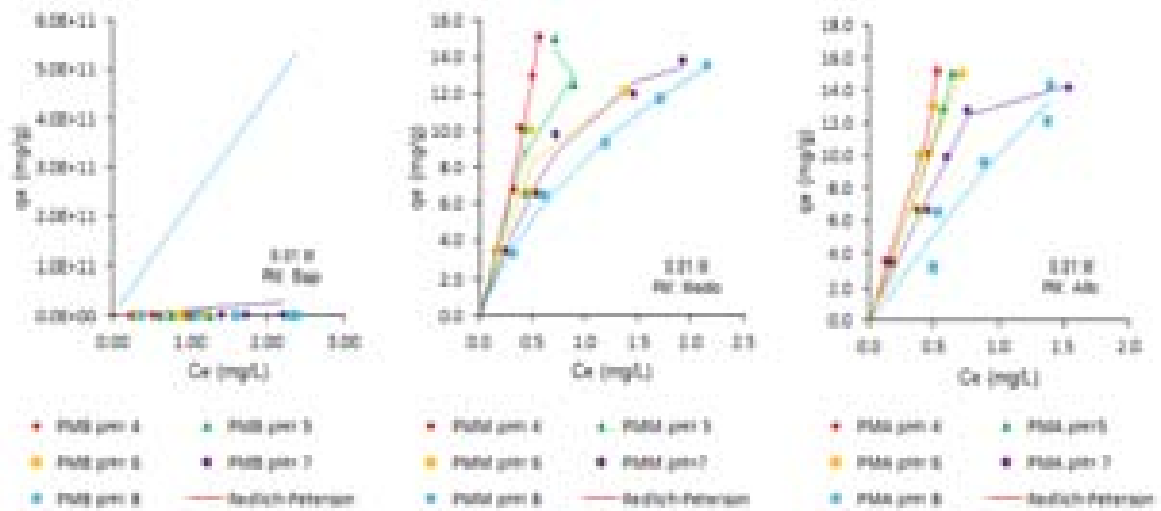
### Modelo Freundlich



### Modelo Langmuir



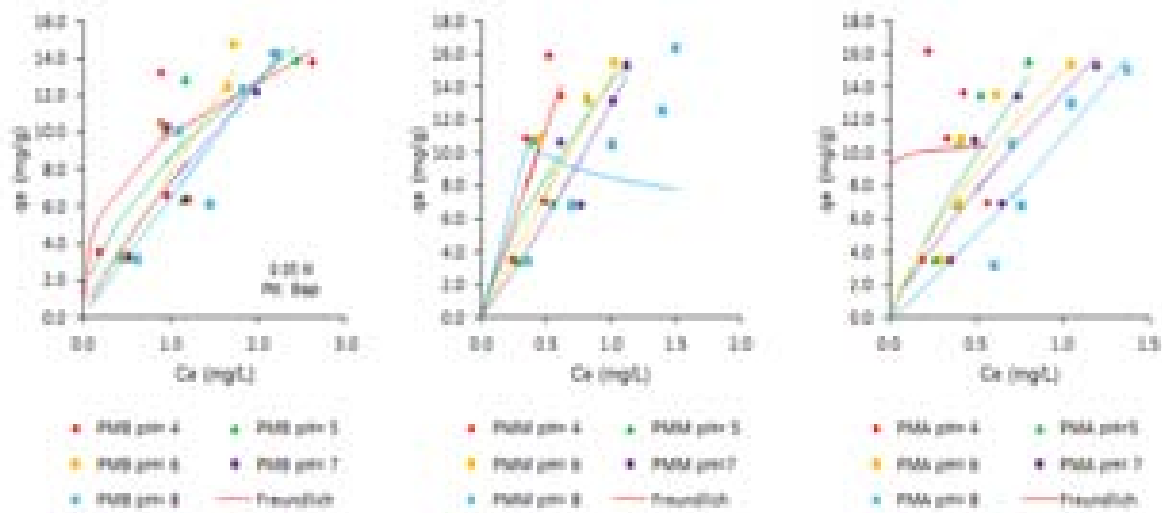
Modelo Redlich-Peterson



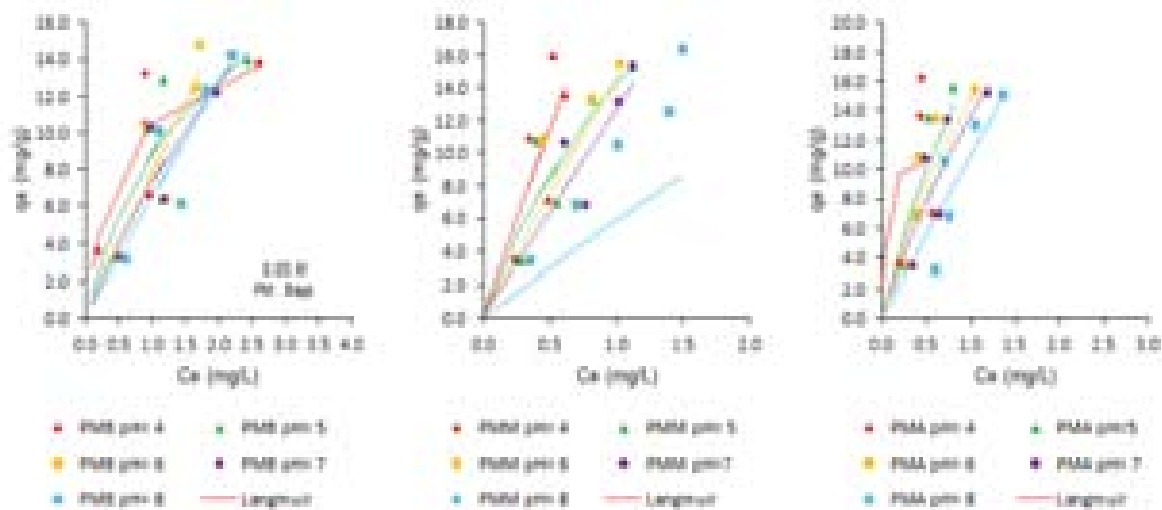
**Figura E.3** Equilibrio de Adsorción de Quitosana a diferentes Pesos Moleculares y Fuerza Iónica de 0.01 M, Agua Preparada.

### E.3 Fuerza Iónica 0.05 M

#### Modelo Freundlich

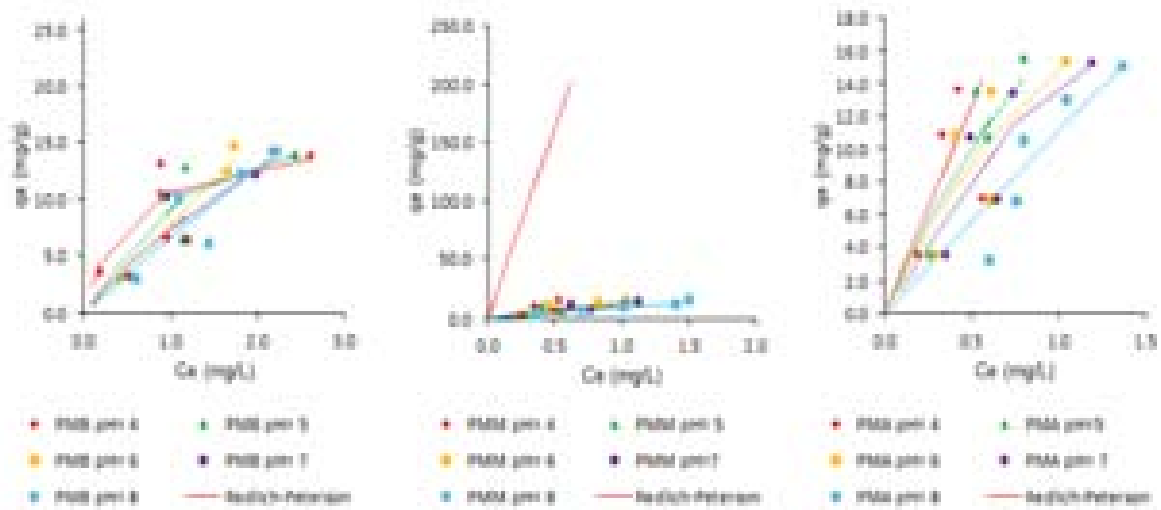


#### Modelo Langmuir





Modelo Redlich-Peterson



**Figura E.4** Equilibrio de Adsorción de Quitosana a diferentes Pesos Moleculares y Fuerza Iónica de 0.05 M, Agua Preparada.

## Anexo F

### Algoritmo, Modelo Cinético

#### Programa Mat Lab

```
function kinetics

% minimisation for kinetics model equation: pseudo first order and pseudo
% second order
% JUIGALPA; DOC 2.00 mg/L
% At different pH and molecular weight (MW) of adsorbent.
% # Time= 3 in hours
%i = 1 for LMW, pH=4
%i = 2 for LMW, pH=5
%i = 3 for LMW, pH=6
%i = 4 for LMW, pH=7
%i = 5 for LMW, pH=8
%i = 6 for MMW, pH=4
%i = 7 for MMW, pH=5
%i = 8 for MMW, pH=6
%i = 9 for MMW, pH=7
%i = 10 for MMW, pH=8
%i = 11 for HMW, pH=4
%i = 12 for HMW, pH=5
%i = 13 for HMW, pH=6
%i = 14 for HMW, pH=7
%i = 15 for HMW, pH=8

tim1=[3 22.5 44.5];
Qt1=[0.98 1.28 1.67];
Qt2=[0.91 1.24 1.64];
Qt3=[0.51 1.19 1.63];
Qt4=[0.10 1.01 1.48];
Qt5=[0.18 0.30 1.21];
Qt6=[1.13 1.59 1.89];
Qt7=[0.75 1.05 1.89];
Qt8=[0.69 0.91 1.77];
Qt9=[0.69 0.91 1.49];
Qt10=[0.66 0.80 1.21];
Qt11=[1.65 1.84 1.92];
Qt12=[1.66 1.82 1.94];
Qt13=[1.41 1.45 1.90];
Qt14=[1.60 1.75 1.90];
Qt15=[1.44 1.27 1.74];

% Kinetics models
% j=1 for Pseudo first order, x(1)= qe; x(2)= k1
% j=2 for Pseudo second order, x(1)=1/k2; x(2)=1/qe

% minimisation

global tim qt np
clc;
```

```

clear tim qt
%start
i=1;
j=2;
x0=[28.0 0.003 ];

%read experimental data
if i==1;tim=tim1;qt=Qt1;np=3;end
if i==2;tim=tim1;qt=Qt2;np=3;end
if i==3;tim=tim1;qt=Qt3;np=3;end
if i==4;tim=tim1;qt=Qt4;np=3;end
if i==5;tim=tim1;qt=Qt5;np=3;end
if i==6;tim=tim1;qt=Qt6;np=3;end
if i==7;tim=tim1;qt=Qt7;np=3;end
if i==8;tim=tim1;qt=Qt8;np=3;end
if i==9;tim=tim1;qt=Qt9;np=3;end
if i==10;tim=tim1;qt=Qt10;np=3;end
if i==11;tim=tim1;qt=Qt11;np=3;end
if i==12;tim=tim1;qt=Qt12;np=3;end
if i==13;tim=tim1;qt=Qt13;np=3;end
if i==14;tim=tim1;qt=Qt14;np=3;end
if i==15;tim=tim1;qt=Qt15;np=3;end
%
[tim' qt']

if j==1;x=fminsearch(@funp1,x0);end;
if j==2;x=fminsearch(@funp2,x0);end;

%Function to minimize

%j=1 for Pseudo first order model

function f = funp1(x)
%global tim qt
sum=0;
for i=1:np
z = qt(i)-x(1)+(x(1)/10^(x(2)*tim(i)/2.303));
sum = sum + z*z;
end
f = sum

end

%j=2 for Psuedo second order model

function f = funp2(x)
%global tim qt
sum=0;
for i=1:np
z = qt(i)-tim(i)/(x(2)*(x(1)*x(2)+tim(i)));
sum = sum + z*z;
end
f = sum

end

```

```
% El primer valor de x corresponde a x(1) o sea qe (capacidad de
adsorción en el equilibrio) y el segundo valor de x
% corresponde a x(2) o sea k1 (constante de pseudo-primer order)
%x

% El valor y es adsorption capacity q(1/x(2)) para pseudo-segundo orden
y=1/x(2)
% El valor z es P-second order k2(1/x(1), la cual es la constante de
% pseudo-segundo orden
z=1/x(1)

nplot=250;
timfin=tim(np);
time=linspace(0,timfin,nplot);
for i=1:nplot
    if j==1;zz(i) = x(1)-(x(1)/10^(x(2)*time(i)/2.303));end;
    if j==2;zz(i)= time(i)/(x(2)*(x(1)*x(2)+time(i)));end;
end
plot(tim,qt,'ro',time,zz,'-b')

end
```

## Anexo G

### Algoritmo, Modelo de Isotermas

#### Programa Mat Lab

```
function isotherm
% Fit a isotherm to experimental data
sin fuerza ionica
% Experimental data notation
%i = 1 for LMW, pH=4
%i = 2 for LMW, pH=5
%i = 3 for LMW, pH=6
%i = 4 for LMW, pH=7
%i = 5 for LMW, pH=8
%i = 6 for MMW, pH=4
%i = 7 for MMW, pH=5
%i = 8 for MMW, pH=6
%i = 9 for MMW, pH=7
%i = 10 for MMW, pH=8
%i = 11 for HMW, pH=4
%i = 12 for HMW, pH=5
%i = 13 for HMW, pH=6
%i = 14 for HMW, pH=7
%i = 15 for HMW, pH=8

Ce1 = [0.193    0.97    0.69    1.24    1.33];
Qe1 = [3.34    5.95    9.11    11.95   14.38];
Ce2 = [0.221    1.08    0.90    1.30    2.25];
Qe2 = [3.31    5.84    8.90    11.90   13.45];
Ce3 = [0.345    1.09    0.98    1.41    2.93];
Qe3 = [3.19    5.82    8.82    11.79   12.77];
Ce4 = [0.345    1.10    1.23    1.44    3.00];
Qe4 = [3.19    5.81    8.57    11.76   12.71];
Ce5 = [0.552    1.41    1.33    1.73    3.98];
Qe5 = [2.98    5.51    8.47    11.47   11.73];
Ce6 = [0.014    0.40    0.21    0.33    1.21];
Qe6 = [3.52    6.52    9.59    12.87   14.49];
Ce7 = [0.028    0.44    0.28    0.54    1.71];
Qe7 = [3.51    6.47    9.52    12.66   13.99];
Ce8 = [0.069    0.51    0.35    0.94    1.92];
Qe8 = [3.46    6.40    9.45    12.26   13.78];
Ce9 = [0.097    0.59    0.54    0.95    2.07];
Qe9 = [3.44    6.32    9.26    12.25   13.63];
Ce10 = [0.138   0.68    0.61    1.35    3.33];
Qe10 = [3.40    6.24    9.19    11.85   12.37];
Ce11 = [0.028   0.37    0.19    0.32    0.55];
Qe11 = [3.51    6.54    9.61    12.88   15.15];
Ce12 = [0.055   0.37    0.25    0.41    1.59];
Qe12 = [3.48    6.54    9.55    12.79   14.11];
Ce13 = [0.097   0.41    0.28    0.48    1.86];
```

```

Qe13 = [3.44    6.50    9.52    12.72    13.84];
Ce14 = [0.138  0.47    0.39    0.91    1.39];
Qe14 = [3.40    6.45    9.41    12.29    13.71];
Ce15 = [0.166  0.54    0.54    1.20    1.93];
Qe15 = [3.37    6.38    9.26    12.00    13.77];

% Isotherm models
% j=1 for Freundlich
% j=2 for Langmuir
% j=3 for Redlich-Peterson

% minimisation
global qe ce np
clc;
clear ce qe
%start
i=10
j=2
%Para Langmuir y Frenldlich se deben colocar 2 valores para x0; para
%Redlich-Peterson se colocan 3 valores.
x0 = [10  1]
%read experimental data
if i==1;ce=Ce1;qe=Qe1;np=5;end
if i==2;ce=Ce2;qe=Qe2;np=5;end
if i==3;ce=Ce3;qe=Qe3;np=5;end
if i==4;ce=Ce4;qe=Qe4;np=5;end
if i==5;ce=Ce5;qe=Qe5;np=5;end
if i==6;ce=Ce6;qe=Qe6;np=5;end
if i==7;ce=Ce7;qe=Qe7;np=5;end
if i==8;ce=Ce8;qe=Qe8;np=5;end
if i==9;ce=Ce9;qe=Qe9;np=5;end
if i==10;ce=Ce10;qe=Qe10;np=5;end
if i==11;ce=Ce11;qe=Qe11;np=5;end
if i==12;ce=Ce12;qe=Qe12;np=5;end
if i==13;ce=Ce13;qe=Qe13;np=5;end
if i==14;ce=Ce14;qe=Qe14;np=5;end
if i==15;ce=Ce15;qe=Qe15;np=5;end

[ce' qe'];

if j==1;x= fminsearch(@funp1,x0);end;
if j==2;x= fminsearch(@funp2,x0);end;
if j==3;x= fminsearch(@funp3,x0);end;
if j==4;x= fminsearch(@funp4,x0);end;

% Function to minimize

% j=1 for Freundlich. x(1)=aF (const de Freundlich); x(2)=nF (exponente
de % Freunlich)
function f = funp1(x)
    sum=0;
    for i=1:np
        z = qe(i)-(x(1)*ce(i)^x(2));
        sum = sum + z*z;
    end
end

```

```

        f=sum
    end

% j=2 for Langmuir. x(1)=qemax (Capacidad maxima de adsorcion) y x(2)=b
Constant de Langmuir)
    function f = funp2(x)
        sum=0;
        for i=1:np
            z = qe(i) - (x(1)*x(2)*ce(i) / (1+x(2)*ce(i)));
            sum = sum + z*z;
        end
        f = sum
    end

% j=3 for Redlich-Peterson. x(1)=KR (Constant), x(2)=aR(constante) x(3)=b
(exponente)
    function f = funp3(x)
        sum=0;
        for i=1:np
            z = qe(i) - (x(1)*ce(i) / (1+(x(2)*ce(i)^x(3))));
            sum = sum + z*z;
        end
        f = sum
    end

end

%







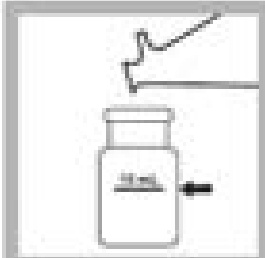

x
nplot=50;
cefin=ce(np);
cep=linspace(0,cefin,nplot);
for i=1:nplot
    if j==1;zz(i)=x(1)*cep(i)^x(2);end;
    if j==2;zz(i)=x(1)*x(2)*cep(i)/(1+x(2)*cep(i));end;
    if j==3;zz(i)=x(1)*cep(i)/(1+(x(2)*cep(i)^x(3)));end;
    if j==4;zz(i)=x(1)*cep(i)^x(3)/(1+(x(2)*cep(i)^x(3)));end;
end
plot(ce,qe,'ro',cep,zz,'-b')
end

```

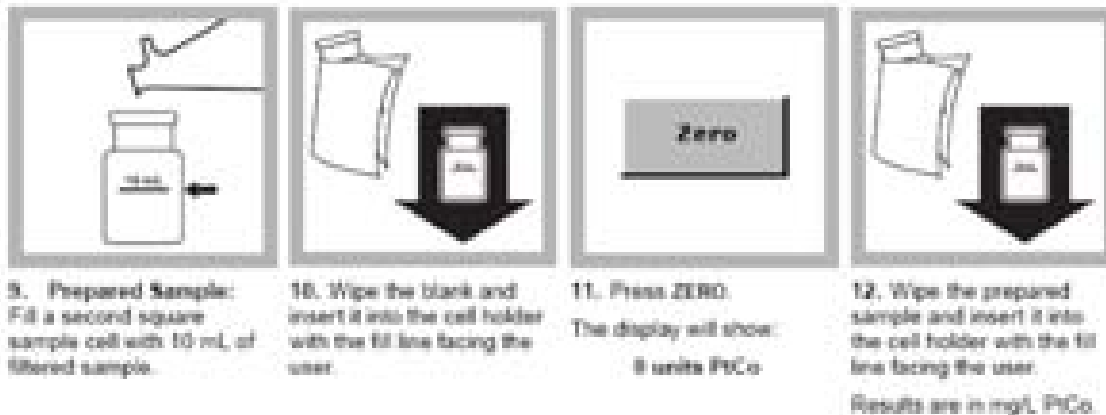
## Anexo H

### Métodos para la Determinación de Parámetros

#### H.1 Color Verdadero

Platinum-Cobalt		Method 8025	
 <p>1. Select the test. NCASI: Use Program 125 for the NCASI test.</p>	 <p>2. Insert the Multi-cell Adapter with the 1-inch square cell holder facing the user.</p>	 <p>3. Collect 200 mL of sample in a 400-mL beaker. NCASI: Adjust the pH as described in <a href="#">Test Preparation</a>.</p>	 <p>4. Assemble the filtering apparatus (0.45 micron membrane filter, filter holder, filter flask, and aspirator). NCASI: Test prescribes a 0.8-micron filter.</p>
 <p>5. Rinse the filter by pouring about 50 mL of deionized water through the filter. Discard the rinse water.</p>	 <p>6. Pour another 50 mL of deionized water through the filter.</p>	 <p>7. Blank Preparation: Fill a square sample cell with 10 mL of filtered deionized water from step 6. Discard the excess water in the flask.</p>	 <p>8. Pour about 50 mL of sample through the filter.</p>





## H.2 pH




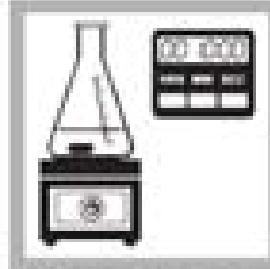

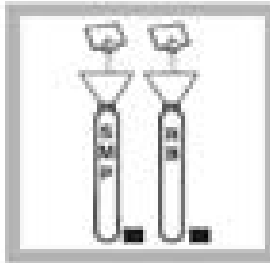


Este parámetro será medido en el momento que la muestra es tomada usando la combinación del método pH electrodo y un medidor portátil EC 10 USEPA. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón dispensador una vez (hasta que haga click).
- Enjuague bien con agua desmineralizada y seque. Poner el electrodo en el contenedor de la muestra.
- Apuntar el valor del pH cuando la pantalla esté estable.
- Enjuagar el electrodo completamente con agua desmineralizada y secarlo bien.

El aparato deberá de ser calibrado diariamente para garantizar que los valores medidos sean los correctos.

### H.3 Carbono Orgánico Disuelto (DOC)

La muestra y el blanco deben de filtrarse previamente con papel filtro de fibra de vidrio de 0.47  $\mu\text{m}$ .

Direct Method		Method 10128	
			
1. Turn on the DRB 200 reactor. Select the TOC program.	2. Use a graduated cylinder to add 10 mL of sample to a 50-mL Erlenmeyer flask that contains a stir bar.	3. Add 0.4 mL of Buffer Solution, pH 2.0. Use pH paper to make sure the sample pH is 2.	4. Place the flask on a stir plate and stir at a moderate speed for 10 minutes.
			
5. Label two Low Range Acid Digestion vials sample and reagent blank.	6. Use a funnel to add the contents of one TOC Persulfate Powder Pillow to each Acid Digestion vial (colorless liquid).	7. Use a TenSette® Pipet to add 3.0 mL of organic-free water to the reagent blank vial and 3.0 mL of prepared sample to the sample vial. Swirl to mix.	8. Rinse two blue Low Range Indicator Ampoules with deionized water and wipe them with a soft, lint-free wipe. Do not touch the ampoules sides after wiping. Pick them up by the top.

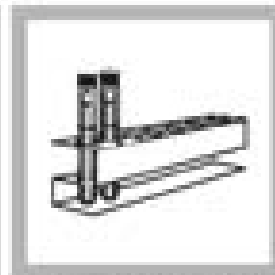


9. Lower one unopened ampule into each Acid Digestion vial. When the score mark on the ampule is level with the top of the Acid Digestion vial, snap the top off the ampule and allow it to drop into the Acid Digestion vial.

**Do not invert or tilt the vial after inserting the ampule.**



10. Cap the vial assemblies tightly and insert them in the COD reactor for 2 hours at 103–105 °C.



11. Carefully remove the vial assemblies from the reactor. Place them in a test tube rack.

Allow the vials to cool for one hour for accurate results.

The liquid in the reagent blank vial should be dark blue.



12. Select the test.



13. Wipe the reagent blank with a damp towel, followed by a dry one, to remove fingerprints or other marks.



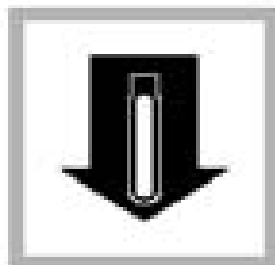
14. Insert the reagent blank vial assembly in the 15-mm round cell holder.



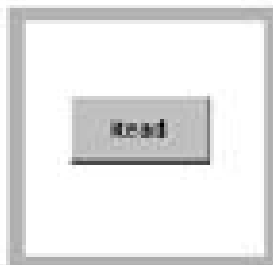
15. Press ZERO  
The display will show:  
0.0 mg/L C.



16. Wipe the sample vial assembly with a damp towel, followed by a dry one, to remove fingerprints or other marks.





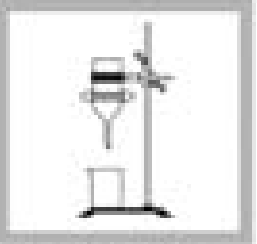

17. Insert the sample vial assembly in the 15-mm round cell holder.



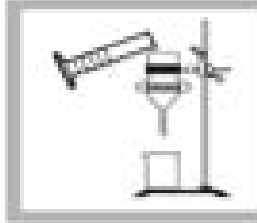
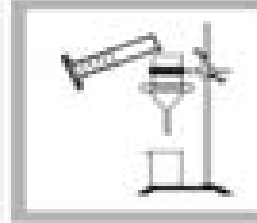

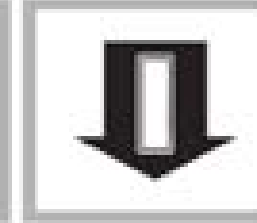
18. Press READ.  
Results are in mg/L C.

#### H.4 Método de Absorción Ultravioleta (UV<sub>254</sub>)



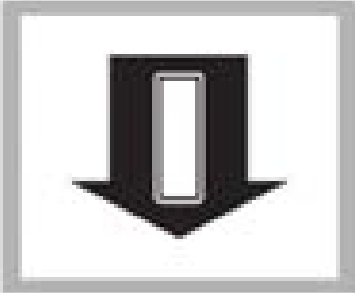
**Method 10054**

1. Select the test.
2. Insert the Multi-cell Adapter with the 10-mm square cell holder facing the user.
3. Assemble the filter apparatus. Be sure to use the white PTFE support plate. Insert the filter with the wrinkled surface upward.
4. Mount the apparatus into a support stand and place a clean glass beaker underneath.

5. Pre-wash the filter assembly by pouring at least 50 mL of Organic-Free Reagent Water through the filter. Decant the filtered water. Pre-rinsing removes any soluble impurities from the filter.
6. **Prepared Sample:** Pour 50 mL of sample through the filter and collect the filtered sample.
7. **Blank Preparation:** Rinse a clean 1-cm quartz cell several times with Organic-Free Reagent Water. Fill the cell with Organic-Free Reagent Water. Wipe the cell walls thoroughly.
8. Align the clear windows with the light path. Insert the blank into the cell holder.

9. Press ZERO. The display will show:  
0.000 cm<sup>-1</sup>  
1cm cell  
Lamp Warm Up will be indicated if the UV lamp has not been previously on. This may take 2-3 minutes.
10. Discard the contents of the blank cell and rinse the cell several times with filtered sample. After rinsing, fill the cell with filtered sample. Wipe the cell walls to remove fingerprints.
11. Align the clear windows with the light path. Insert the cell containing the prepared sample into the cell holder. Results are in absorbance per centimeter (cm<sup>-1</sup>).