



INFORME *IN EXTENSO*
DE ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN CON/CON 2016

A. DATOS GENERALES DEL ESTUDIO

1. Título del estudio.

Obtención de biopolímeros como adsorbentes de colorantes de los efluentes textiles a partir de cáscaras de crustáceos y plumas de pollo.

2. Código del estudio. 161701021.

3. Facultad. Ingeniería Industrial.

4. Programa y Línea de investigación.

Ingeniería y tecnologías del Medio Ambiente

5. Instituto, Centro o Unidad de Investigación. Instituto de Investigación Ingeniería Industrial.

6. Miembros del equipo de investigación.

Miembro	Actividad
TINOCO GÓMEZ OSCAR RAFAEL	Coordinador General
SALAS BACALLA JULIO ALEJANDRO	Coordinación caracterización efluentes
VIZARRETA CHIA ISMAEL ROBERTO	Coordinación implementación Biorreactor
BELTRAN SARAVIA VICTOR ESTEBAN	Selección y adecuación de pruebas experimentales
MEDINA ESCUDERO ANA MARIA	Supervisión pruebas experimentales
ALVAREZ BAUTISTA JENNY LUZ	Análisis químico de biopolímeros
MEDINA SANCHEZ CARLOS LENIN	Logística de aprovisionamiento de insumos
MORALES DA COSTA OSCAR ABRAHAM	Apoyo recolección muestras y envío a laboratorios especializados
ESCUDERO AGUILAR GUDELIA SOFIA	Apoyo redacción informe
CALLE FLORES CINDY MELANI	Recopilación de datos
CCORA MONTALGO ALEXANDER	Analista de datos
LEÓN MARTINEZ OSCAR FEDERICO	Diseño biorreactor
ROSALES LOPEZ PEDRO PABLO	Análisis de datos
BERMUDES MENDOZA CARLOS ENRIQUE	Procesamiento información

Oscar Rafael Tinoco Gómez
Responsable

B. CONTENIDO DEL INFORME *IN EXTENSO*: ARTÍCULO CIENTÍFICO-ACADÉMICO REDACTADO

1. Resumen

La investigación llevada a cabo, forma parte importante de un grupo de alternativas de solución frente a la necesidad de remediar efluentes textiles contaminados por colorantes. El propósito central fue utilizar la queratina (obtenido de las plumas de pollo) y quitosano (obtenido de las cascarras de langostino rojo) para la adsorción del azul de metileno con la evaluación de algunas variables, pH de la solución, concentración inicial del colorante. Finalmente se obtuvieron porcentajes importantes de adsorción del colorante: La adsorción de la queratina Ke1020 se realiza a pH 9 y en un tiempo de 250 minutos llega al máximo con un % de remoción de 83%.

Para el quitosano Ch1020, se observa que a los 30 minutos ya adsorbido el 77% y el pH óptimo es entre 5 y 6.

2. Palabras Claves

Biopolímeros, adsorbentes efluentes textiles; queratina, quitosano.

3. Introducción - objetivos

Los efluentes de las industrias textiles son una de las principales fuentes de contaminación por colorantes. Dado que muchos tintes y sus productos de degradación son tóxicos para los organismos humanos y vivos, la eliminación de materias colorantes de las aguas residuales ha recibido considerable atención en los últimos decenios.

Caprile (2011) reporta la problemática ambiental generada por los caparzones de los crustáceos, desechados por las fábricas tras la extracción de la parte comestible. Añade que estos residuos albergan un polímero natural denominado quitina, sustancia que tiene aproximadamente 200 usos en la industria farmacéutica, alimenticia, agrícola y en el tratamiento de efluentes textiles.

Los colorantes sintéticos son estables a la biodegradación, por lo tanto, el tratamiento de aguas residuales aeróbicas no tienen éxito en la eliminación, el color de las aguas residuales. Además, los productos de degradación de algunos colorantes son tóxicos. Por estas razones varios métodos se desarrollaron como: filtración, floculación, química y electroquímica, oxidación, tratamiento con ozono y la adsorción. Entre los métodos mencionados anteriormente, el proceso de adsorción es una de las técnicas más eficaces y de bajo costo ampliamente estudiados en los últimos años para eliminar tintes de las aguas residuales. Los métodos de adsorción son superiores a otras técnicas no sólo en términos de coste, sino también en términos de la flexibilidad, la simplicidad del diseño, facilidad de operación, etc. Por otra parte, métodos de adsorción no producen sustancias nocivas secundarias y la superficie de un adsorbente se puede funcionalizar y diseñar a fin de aumentar el rendimiento de adsorción.

El azul de metileno, AM, es un colorante de naturaleza catiónica, usado comúnmente en la industria textil para la tinción de algodón, lana, madera, papel y seda. Sus características de toxicidad hacen que sea considerado como un compuesto con efectos secundarios perjudiciales para la salud, ya que incrementa el ritmo cardíaco, produce alteraciones gástricas y nerviosas, así como también puede inducir la aparición de enfermedades cutáneas como la cianosis e ictericia.

Rios et al (2013) señalan que los colorantes sintéticos utilizados en el teñido de

textiles tienen como característica un doble enlace nitrógeno—nitrógeno (N = N), constituyen uno de los mayores problemas de contaminación ya que durante el proceso de teñido queda remanente y se vierte como agua residual sobre los cuerpos de agua, con la consiguiente interferencia en los procesos de la vida acuática, ya que impiden el paso de la luz.

Ruiz et al (2007) señalan que la aplicación de los procesos de adsorción en efluentes dan lugar a agua tratada de calidad, convirtiéndose en una alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas, sobre todo si se cuenta con un adsorbente de bajo costo.

Flores et al (2005) afirman que el quitosano (Q) es un derivado del polímero natural quitina, polímero que se encuentra en grandes cantidades en la naturaleza ya que es el segundo polímero natural más abundante después de la celulosa. El quitosano es biodegradable y está siendo muy estudiada como un bioabsorbente debido a su bajo costo comparado con el carbón activado comercial y su gran capacidad de remoción de colorantes disueltos en disoluciones acuosas.

Hernández (2009) reporta la extracción de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón desechados en restaurantes de comida marina. Se logró la desacetilación termoalcalina heterogénea de la quitina. El porcentaje de desacetilación del quitosano obtenido es de 64 %. Finalmente señala que los resultados de porcentaje de ceniza, humedad y materia insoluble demuestran que la pureza del quitosano obtenido es aceptable para el control ambiental.

En este marco de referencia, el propósito del presente trabajo es verificar la posibilidad de utilizar la queratina (obtenido de las plumas de pollo) y quitosano (obtenido de las cascaras de langostino rojo) para la adsorción del azul de metileno con la evaluación de algunas variables, pH de la solución, concentración inicial del colorante, etc., finalmente describir el proceso de adsorción en base a los parámetros y los modelos de adsorción.

4. Metodología y técnicas de investigación utilizadas

La obtención de quitosano a partir de desechos de crustáceos y plumas de pollo, involucra cuatro pasos básicos: demineralización, deproteinización, decoloración y deacetilación.

El proceso de obtención normalmente se realiza con el uso de NaOH y HCl para la deproteinización y demineralización respectivamente, sin embargo las características del biopolímero no siempre es el mismo, pues dependen del tipo de materia prima usado y la secuencia de producción.

La investigación corresponde, en tal sentido, a una investigación aplicada, con diseño experimental, que seguirá los protocolos químicos para caracterizar la materia prima y un conjunto de procesos para obtener el biopolímero.

Las muestras: para el caso del quitosano, la muestra son los residuos de caparazón del langostino rojo (*Litopenaeus vannamei*), fue empleada para esta investigación, el cual ha sido recolectado del terminal pesquero del Callao, en febrero 2016, un peso total de 10 Kg. Para el caso de la queratina, la muestra son los residuos de plumas del mercado de Bocanegra que venden pollo del Callao. La muestra problema (efluente), fue una muestra de azul de metileno preparado a partir del reactivo de grado analítico en la concentración de 500 ppm.

Los materiales y reactivos para la caracterización de queratina y quitosano y otros fueron de grado reactivo y/o analítico dependiendo de su aplicación, adquiridos de Merck.

Los equipos empleados para la caracterización de la queratina y quitosano

fueron un espectrómetro infrarrojo, FT - IR, Serie 1600, Perkin Elmer; espectrofotómetro ultravioleta visible, agilent.

5. Exposición estructurada (capítulos, títulos, subtítulos, tablas, gráficos según corresponda) de los resultados de la investigación

Antecedentes

Hernández (2009) reporta la extracción de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón desechados en restaurantes de comida marina. Se logró la desacetilación termoalcalina heterogénea de la quitina. El porcentaje de desacetilación del quitosano obtenido es de 64 %. Finalmente señala que los resultados de porcentaje de ceniza, humedad y materia insoluble demuestran que la pureza del quitosano obtenido es aceptable para el control ambiental.

Rios et al (2013) demostraron que la aplicación del sulfato de quitosano tiene la capacidad de remover rápidamente y casi completamente de disoluciones diluidas, a los pH estudiados, el colorante rojo 40 el colorante amarillo y el azul básico.

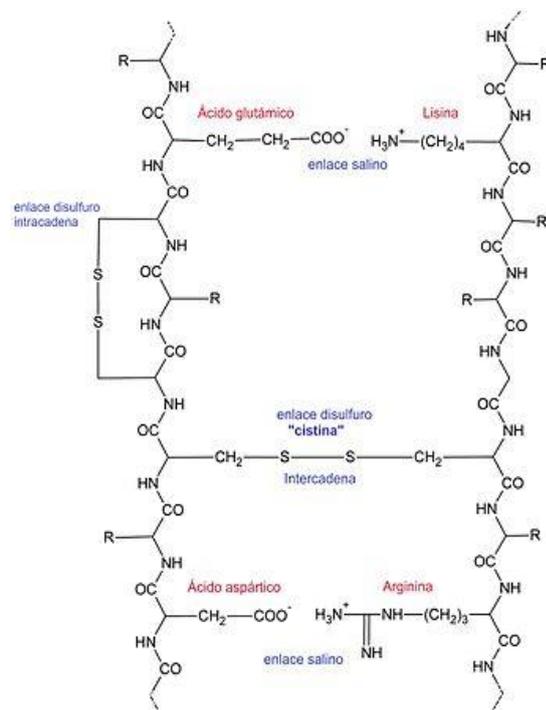
Pelaez (2013) reseña que existen comercialmente más de 100,000 colorantes (Ö. Tunç, 2009) disponibles con una producción anual de más de 7×10^8 kg, de los cuales la industria textil es la mayor consumidora con el 50% de la producción mundial.

Pelaez (2013) concluye, en un texto que resume diversas técnicas de tratamiento efluentes industriales, que la remoción del color de los efluentes textiles es posible mediante la utilización de adsorbentes naturales, preparados a partir de residuos abundantes y de fácil disposición en la región donde se ubican las fábricas. Lo enfatiza como un método eficiente y económico.

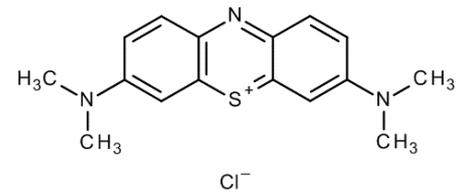
Marco conceptual

La queratina (Ke) es una proteína con estructura fibrosa, muy rica en azufre, que constituye el componente principal que forman las capas más externas de la epidermis de los vertebrados y de otros órganos derivados del ectodermo, como el pelo, uñas, plumas, cuernos, pezuñas. La queratina es una proteína con una estructura secundaria, se pliega sobre sí misma, adquiriendo tres dimensiones. Esta estructura puede ser de tipo helicoide, llamándose así proteína α -hélice o de forma laminar o lámina- β . Las interacciones intermoleculares de tipo puentes de hidrógeno, fuerzas hidrofóbicas, o enlaces salino, como los dados entre los aminoácidos ácido glutámico y lisina, mantienen unidos los aminoácidos de distintas hebras o segmentos macromoleculares de la proteína. La capacidad de transferencia de carga a través de los enlaces intermoleculares hace de las queratinas unos buenos biomateriales estructurales, con buenas propiedades mecánicas.

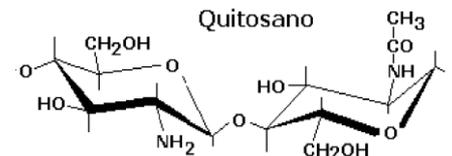
El quitosano (Ch) es un biopolímero derivado de N-deacetilación de la quitina que se encuentra en abundancia natural. El alto contenido de grupos funcionales hidroxilo y amino del quitosano son potenciales que ha sido aprovechado en el campo de la adsorción de sustancias.



QUERATINA



AZUL DE METILENO



QUITOSANO

Figura 1. Estructura química de la queratina, azul de metileno y quitosano.

Resultados

Obtención de quitosano. Primero se obtiene la quitina a partir de los caparazones del langostino rojo, se realizó los dos procesos siguientes: Proceso de desproteínización (DP), con NaOH 10% agitando por dos horas. Después del proceso, la solución fue filtrada y el material sólido se lavó con agua sucesivamente hasta alcanzar pH neutro. Todas las soluciones básicas se guardan. Proceso de desmineralización (DM), se lleva a cabo a temperatura ambiente, con HCl a diluido por 2 horas. Después de este proceso, la solución se filtra y se lava con agua hasta obtener una solución pH igual que del agua, esta solución acida también se guarda. Para la obtención de quitosano, el producto obtenido después de realizar la DP y DM se llama quitina, luego se realizó el proceso llamado desacetilación el cual consistió en tratar con soluciones de NaOH 50%, por 2 horas. Después se la solución fue filtrada y el material sólido se lavó con agua sucesivamente hasta alcanzar pH neutro, obteniéndose quitosano de color blanco. La solución básica se ha guardado para otros procesos.

Caracterización de quitina y quitosano.- Para ello se realizaron los siguientes análisis:

a. Determinación de Nitrógeno.- La determinación del contenido de nitrógeno se realizó por el Método Kjeldahl. (ASTM. 1987 y AOAC. 1990).

b. Determinación del Porcentaje de Humedad.- Se determina normalmente por gravimetría; para ello, se lleva a peso constante una muestra calentada en una estufa a 105 °C, por 4 horas.

c. Determinación de Cenizas.- Esta determinación permite conocer el contenido de materiales inorgánicos presentes en la muestra. Es un parámetro muy importante al momento de evaluar las aplicaciones de un determinado quitosano o quitina. El contenido de cenizas se determina gravimétricamente partir del residuo obtenido tras la combustión de la muestra durante al menos 6 horas a 800 °C.

d. Determinación del grado de Desacetilación.- Muchas de las aplicaciones de los quitosanos están estrechamente relacionadas al grado de deacetilación. Existen varios métodos para determinar el grado de desacetilación del quitosano. Algunos de ellos son: espectroscopía UV, espectroscopía IR, RMN y los métodos electroquímicos. Espectroscopía IR. Debido a su simplicidad es uno de los métodos más empleados. Este método se aplica especialmente cuando se tiene muestras que no se pueden preparar soluciones acuosas acidas, como es el caso de las quitinas, para ello se preparara una solución solido al 2%, 100 mg con KBr. Este método consiste en correlacionar la relación de absorbencias entre dos bandas de absorción determinadas, con el % de acetilación de la quitina o quitosano. La selección de las bandas de absorción involucra una señal que depende del grado de N-acetilación (normalmente, una de las bandas amida) y otra que sirve de referencia interna para corregir las diferencias de grosor de las películas o de concentración en las pastillas de KBr. Nosotros aplicaremos esta metodología para el quitosano, para ello se ha tomado como banda característica a la localizada a 1320 cm⁻¹, y como referencia la banda a 1420 cm⁻¹, en donde la correlación lineal viene expresada por la siguiente relación:

$$GD (\%) = 87,8 - 31,92 \times (A_{1320} / A_{1420})$$

En todas las determinaciones por IR, es muy importante la selección adecuada de las líneas base en el cálculo de la absorbencia para alcanzar buenos resultados.

Obtención de queratina, se aplicó el método de sulfuros según Rodríguez (2010, para este caso se ha determinado porcentaje de nitrógeno, humedad, cenizas y se ha corrido un espectro IR para determinar sus grupos funcionales, en todos estos casos se han empleado los mismos métodos que se aplicó para los quitosanos.

6. Interpretación de datos

En primer lugar, se realizó la caracterización de la materia prima de los absorbentes, es decir, caracterizar a las plumas de pollo y a las cascara de langostino; estos resultados se muestran en la tabla 1.

La obtención de la queratina y del quitosano se trabajó en un pequeño reactor de 10 litros de capacidad, en la cual se colocaba hasta un kilogramo de muestra. Este reactor tiene sistema de calentamiento y agitación controlado.

Tabla 1.- Características de cáscara de langostino rojo y de las plumas de pollo

VALORES OBTENIDOS EN MUESTRAS

PARÁMETRO	HUMEDAD	
	PLUMAS DE POLLO	CÁSCARA DE LANGOSTINO
% Humedad	54,3%	36,2%
% Cenizas	5,3%	8,5%
% Nitrógeno	6,4%	9,7%
% Quitosano/queratina	8,5%	15,5%

El quitosano se ha obtenido y caracterizado según se el procedimiento indicado, y estos parámetros están en la tabla 2. El quitosano obtenido se pasó por una malla de 4, 10, 20 y 40. Para las pruebas de adsorción se ha trabajado con los quitosanos que estaban entre las mallas 10 y 20, por eso a esta muestra la llamamos Ch1020.

Tabla 2. Características fisicoquímicas del quitosano

Muestra	% humedad	% Cenizas	% nitrógeno	% DA	Viscosidad	Peso molecular
Quitosano	12,7%	1,2%	2,8%	82,1%	520 cP	790 KDa

Para el análisis del grado de desacetilación se ha empleado el método de espectroscopia IR. Las muestras quitosano se molieron y tamizaron hasta tener un tamaño de partícula menor a malla 100. Se añadió KBr en una relación de 2:98 p/p, se mezcló muy bien y luego fue prensada hasta obtener una pastilla muy delgada y traslúcida, que fue usada para obtener el espectro de las muestras. Analizando las bandas en el espectro de la quitosano (figura 1), se tiene las siguientes características: banda del O-H a 3434 cm⁻¹, N-H alrededor de 3200 cm⁻¹, C-H a 2926 cm⁻¹ banda de la amida I a 1648cm⁻¹, un banda del grupo NH₂ a 1592 cm⁻¹, banda N-H a 1447-1432cm⁻¹, C-O-C a 1081 y 1034cm⁻¹ y a 874cm⁻¹ bandas de la tensión de los grupos anoméricos.

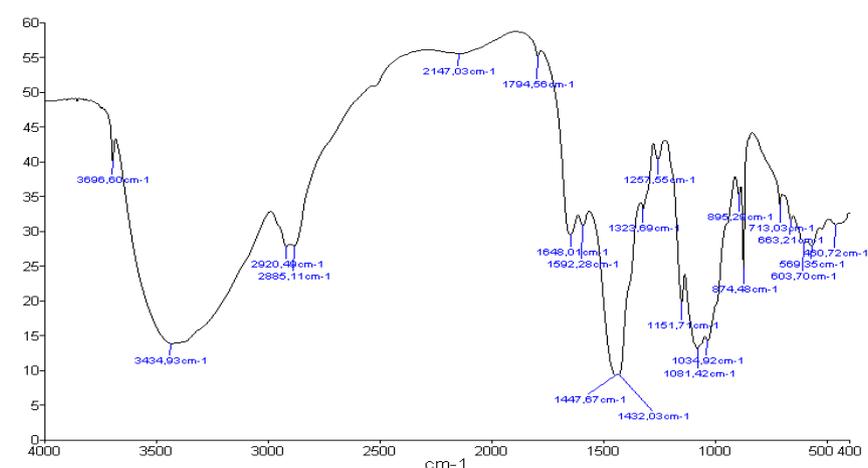


Figura 1: Espectro IR del quitosano del langostino

Los residuos ácidos y básicos del proceso de obtención de quitosano a partir de las cascaras de langostino son neutralizadas y finalmente se obtienen otro subproducto que es rico en proteínas y sales minerales (carbonatos).

La otra materia prima, las plumas de pollo, después del primer lavado para separar la sangre y otros residuos proteicos se obtiene la pluma limpia al cual se seca, esta muestra servirá para obtener a la queratina.

Por otro lado, se ha obtenido queratina a partir de la pluma total, es decir, se ha trabajado con las barbas y los raquis, según la referencia de Rodríguez 2009, el producto final, la queratina se ha pasado por una malla y se ha trabajado con aquel solido que esta entre la malla 10 y 20, por ello a esta muestra la llamamos Ke1020. La queratina que se ha obtenido tiene un peso molecular de 32 KDa, un punto isoeléctrico entre pH de 4-4,5

Las soluciones de azul de metileno se prepararon en agua destilada a la concentraciones 200ppm, ajustando el valor de pH con alícuotas de soluciones de HCl e NaOH 0,1 M. Adicionalmente, para la evaluación de la influencia de NaCl en el proceso de adsorción, se prepararon las soluciones a las mismas condiciones, pero adicionando 100 g de NaCl por cada g de colorante utilizado; dicha relación NaCl/colorante se aproxima a la empleada en la industria textil para el proceso de tinción.

La concentración del azul de metileno fue cuantificada por medio de espectroscopia de UV-Vis, a una longitud de onda máxima de $\lambda_{\text{máx}} = 665 \text{ nm}$, utilizando un espectrofotómetro de UV-Vis Agilent.

Tabla 3. Valores de tiempo y absorbancia

Tiempo Min.	Absorbancia
0	0,88 7
30	0,7984
60	0,5672
90	0,3344
120	0,1887
150	0,1489
180	0,1476
210	0,1458
240	0,1445
270	0,1438
300	0,1424

Fuente: elaboración propia

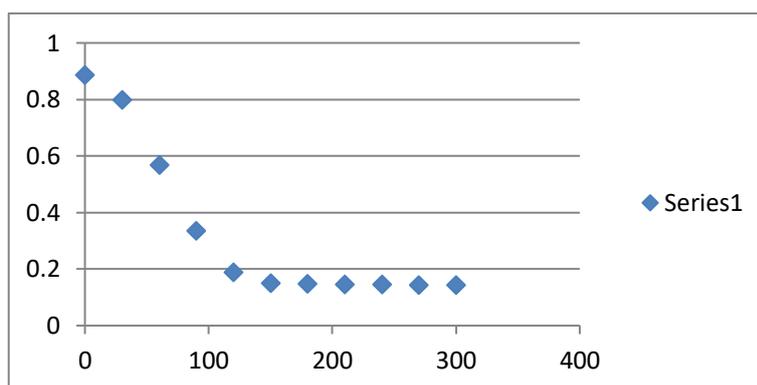


Figura 2. Grafica de tiempo vs absorbancia

El porcentaje de remoción del colorante (%R) se calcula con la ecuación:

$$\%R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} (100)$$

Para la adsorción se realizan de la siguiente forma: en un vaso de 250 mL se coloca 100 mL de solución del colorante, de 200 ppm, se añade 100 mg de queratina Ke1020, se agita a 100 rpm por un periodo de 5 horas; luego cada 30 minutos de toma una muestra y se mide su absorbancia en el UV-vis. Los datos encontrados se muestran en la tabla 3 y en la figura 2 se muestra su grafica respectiva donde se observa que a partir de los 250 minutos (2Horas y media) empieza a ser constante, esto indica que este tiempo es el tiempo óptimo para

adsorber el colorante un 83%, ver tabla 5.

Analizando la figura 3 y tabla 4, vemos que a pH 9 es el pH ideal para la buena adsorción del azul de metileno.

Tabla 4. Valores de pH y absorbancia

pH	Absorbancia
2	0,2312
4	0,5621
6	0,7832
8	0,8574
10	0,8610
12	0,8601

Fuente: elaboración propia

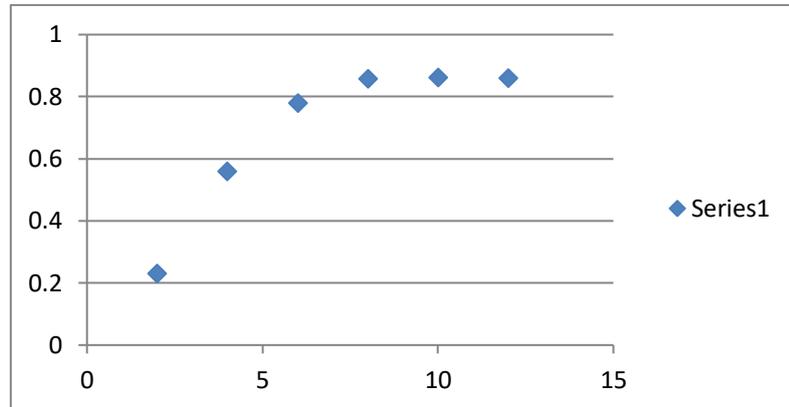


Figura 3. Grafica de pH vs absorbancia para la queratina Ke1020

Tabla 5. Calculo del % de remoción del colorante de la queratina Ke1020

TIEMPO Min.	ABSORBANCIA	Ct	Co-Ct	%R
0	0,8867	199,5075	0,4925	0,24
30	0,7984	179,64	20,36	10,18
60	0,5672	127,62	72,38	36,19
90	0,3344	75,24	124,76	62,38
120	0,1887	42,4575	157,5425	78,77
150	0,1489	33,5025	166,4975	83,24
180	0,1476	33,21	166,79	83,39
210	0,1458	32,805	167,195	83,59
240	0,1445	32,5125	167,4875	83,74
270	0,1438	32,355	167,645	83,82
300	0,1424	32,04	167,96	83,98

Fuente: elaboración propia

Para el absorbente del quitosano Ch1020, se observa que a los 30 minutos ya adsorbido el 77%. Y el pH optimo es entre 5 y 6. Ver tabla 6-8 y figura 4 y 5.

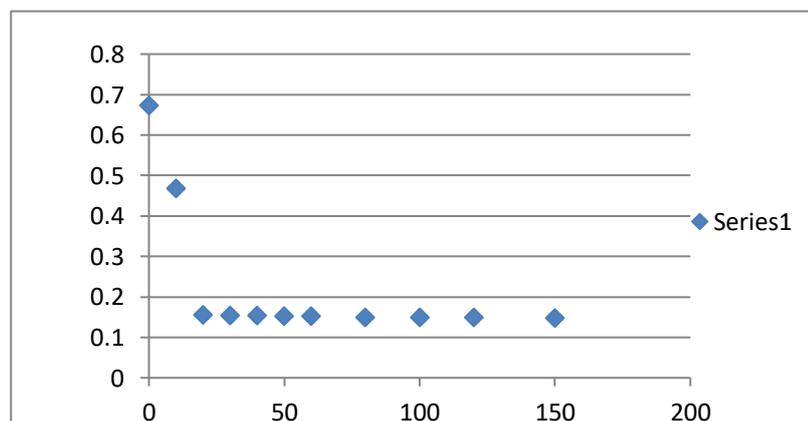


Tabla 6. Tiempo vs absorbancia

tiempo	absorbancia
0	0,6729
10	0,4688
20	0,1554
30	0,1548
40	0,1541
50	0,1523
60	0,1519
80	0,1501
100	0,1492
120	0,1488
150	0,1482

Fuente: elaboración propia

Figura 4. Grafica de tiempo vs absorbancia del quitosano Ch1020

Tabla 7. pH vs absorbancia

pH	absorbancia
2	0,2349
3	0,5672
4	0,7836
5	0,8574
6	0,8617
7	0,8601
8	0,8612
9	0,8601

Fuente: elaboración propia

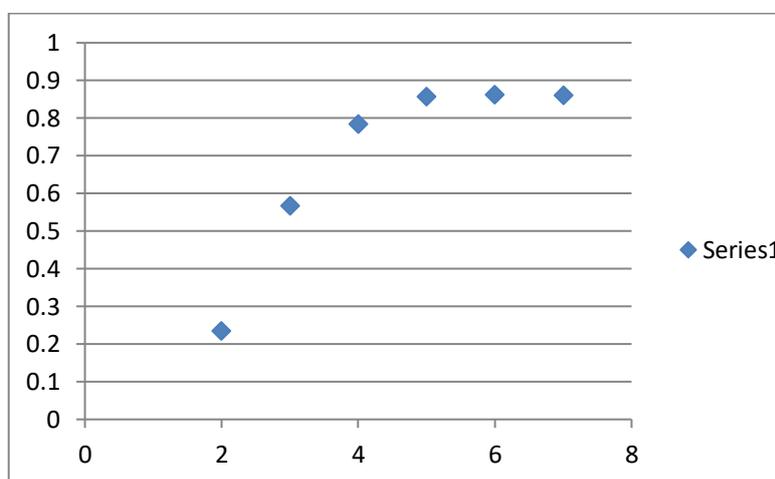


Figura 5. Grafica de pH vs absorbancia del quitosano Ch1020

Tabla 8. Datos del cálculo del porcentaje de remoción del colorante por el Quitosano Ch1020

Tiempo Min.	Absorbancia	Ct	Co-Ct	%R
0	0,6729	199,8513	0,1487	0,07
10	0,4688	139,2336	60,7664	30,38
20	0,1554	46,1538	153,8462	76,92
30	0,1548	45,9756	154,0244	77,01
40	0,1541	45,7677	154,2323	77,11
50	0,1523	45,2331	154,7669	77,38
60	0,1519	45,1143	154,8857	77,44
80	0,1501	44,5797	155,4203	77,71
100	0,1492	44,3124	155,6876	77,84
120	0,1488	44,1936	155,8064	77,90
150	0,1482	44,0154	155,9846	77,99

Fuente: elaboración propia

7. Conclusiones

La adsorción de la queratina Ke1020 se realiza a pH 9 y en un tiempo de 250 minutos llega al máximo con un % de remoción de 83%.

Para el quitosano Ch1020, se observa que a los 30 minutos ya adsorbido el 77% y el pH óptimo es entre 5 y 6.

8. Recomendaciones

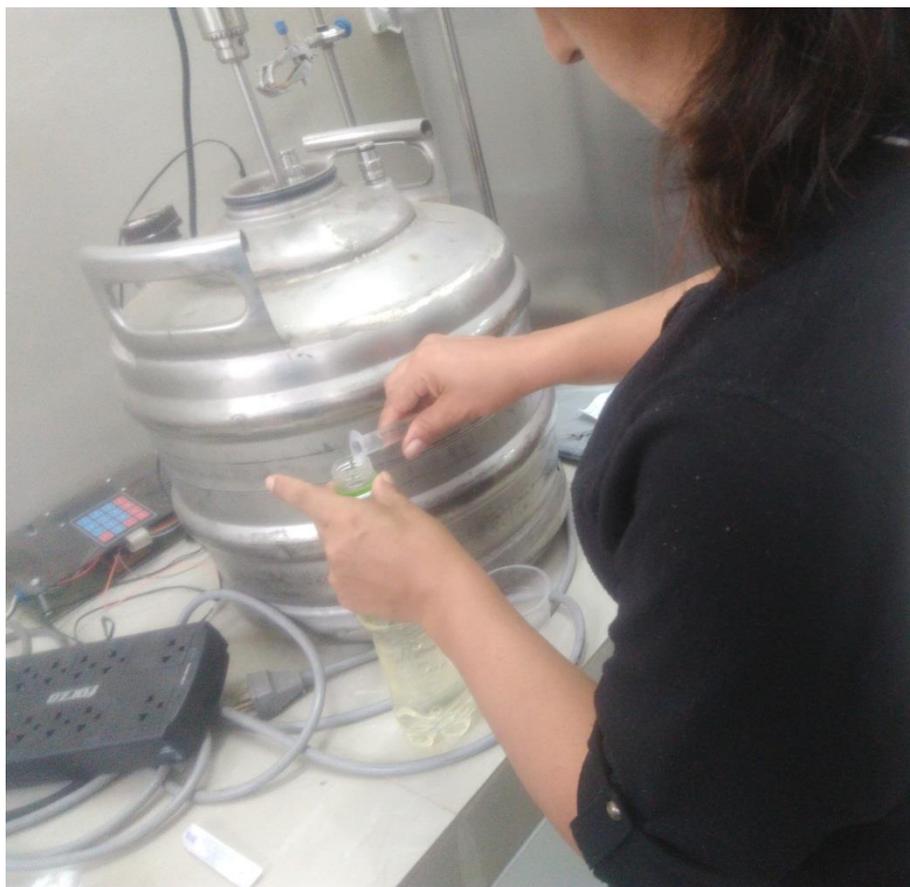
Emprender estudios similares en el marco de un diseño experimental con varios factores, para determinar modelos óptimos de adsorción en base a polímeros derivados del exoesqueleto de crustáceos o plumas de pollo...

9. Referencias bibliográficas

- ASTM. (1987). Standard Test Method for Total Nitrogen in Organic Materials by Modified Kjeldahl Method. A.S.T.M. Designation E 258 - 67.
- AOAC. (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. (15th ed.)
- Caprile, Daniela (2011). Obtención y Utilización de Quitina y Quitosano a partir de desechos de crustáceos. Bahía blanca, Argentina.
- Hernández, H; Águila, E; Flores , O, Viveros, E. (2009). Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón. Superficies y Vacío 22(3) 57-60, septiembre. Revista de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales.
- Flores J, Navarro A, Ramos K, Chang L, Ale N, Maldonado LM (2005). “Adsorción de Cu (II) por quitosano en polvo y perlas de gel”, H. Rev. Soc. Química (Perú), 71(1), 20.
- Pelaez, Alicia (2013). Alternativas de solución para el tratamiento de efluentes textiles. Colección AI, Puebla, México.
- Ríos Nely, Carranza Roxana, García Raúl , Blanco Alicia , García Beatriz.(2013). Eliminación de colorantes de disoluciones acuosas utilizando sulfato de quitosano. Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 14(5).
- Ruiz M, Szygula A, Rodilla V, Barrón J, Sastre A, Guibal E. (2007). Eliminación de los colorantes azoicos de las aguas residuales industriales utilizando el biopolímero Quitosan, Revista Toxicología Ambiental. Asociación Española de Toxicología, 24 (2—3), 101.
- Rodríguez, S. (2009). “Obtención de queratina de plumas de gallina”. Prácticas de laboratorio de polímeros y plásticos. Universidad Central del Ecuador. Quito

Anexos

Foto N° 1: Reactor



Fuente: propia