

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL

Trabajo de fin de Carrera Titulado:

**Obtención de Alginato de sodio a partir de algas de agua dulce de la familia
Zygnemataceae, mediante reacciones de intercambio iónico para ser utilizado como
gelificante.**

Realizado por:

DANILO RAFAEL NARANJO GUAMANÍ

Director del proyecto:

Ing. Katty Verónica Coral Carrillo. MSc.

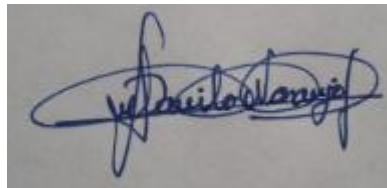
Como requisitos para la obtención del título de:

INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

Quito, 22 de Agosto de 2019

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, NARANJO GUAMANÍ DANILO RAFAEL, con cédula de identidad # 172481918-8, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored surface. The signature is cursive and appears to read 'Danilo Naranjo Guamaní'.

FIRMA Y CÉDULA

172481918-8

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“OBTENCIÓN DE ALGINATO DE SODIO A PARTIR DE ALGAS DE AGUA
DULCE DE LA FAMILIA *ZYGNEMATACEAE*, MEDIANTE REACCIONES DE
INTERCAMBIO IÓNICO PARA SER UTILIZADO COMO GELIFICANTE”**

Realizado por:

DANILO RAFAEL NARANJO GUAMANÍ

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

ha sido dirigido por el profesor

KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

Katty Coral

CI 1709054058

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

WALBERTO GALLEGOS

JOHANNA MEDRANO

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador

FIRMA

Walberto Gallegos

1101940177

FIRMA

Johanna Medrano

1757560329

Quito, 22 de Agosto de 2019

DEDICATORIA

Dedicado a toda mi familia quienes me dieron fortaleza y ánimos en los momentos más difíciles a lo largo de mi etapa estudiantil.

AGRADECIMIENTOS

Dios por tu amor y fuerza en cada parte de mi vida, gracias por cada instante de mi vida.

A mi familia padres hermanos tíos y abuelos.

A mis amigos con quienes compartí buenos y malos momentos dentro y fuera de las
aulas.

A mi tutora Ing. Katty Coral Por haberme abierto las puertas de esta prestigiosa
universidad y además de haberme impartido sus conocimiento me enseñó a que antes de
ser profesionales debemos ser buenos seres humanos.

A los todos los profesores de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad
Internacional SEK.

RESUMEN

Se utilizó como materia prima algas de agua dulce, pertenecientes a la familia *Zygnemataceae*, como fuente de alginato de sodio generalmente usado como gelificante; este producto se obtuvo a nivel de laboratorio a fin de determinar su rendimiento por gramo de alga seca, además se determinó la viscosidad producida por el alginato en una solución. La obtención del alginato utilizó la metodología de Hernández Carmona *et al* (1999), basada en reacciones de intercambio iónico que incluyen procesos como pre-extracción, extracción, precipitación, conversión a alginato de sodio, purificación y secado. Se concluyó que la principal razón por la cual no se ha empezado la producción del alginato con dicha materia prima se debe al bajo rendimiento que presenta. En la investigación se obtuvieron rendimientos promedio de 6,08 % y viscosidad de 18,12 cP a 70°C, siendo esta temperatura la que mejor resultados arroja en cuanto a rendimiento y viscosidad, pero de igual manera son considerados resultados desfavorables, comparados con valores obtenidos tradicionalmente con el alginato de algas *Macrocystis pyrifera*, que llegan a picos de rendimiento de hasta 35 % y viscosidades que oscilan los 500 cP. Sin embargo, la idea de mitigar el impacto en el control ambiental justifica su utilización, ya que paralelamente, se podrá controlar el rápido crecimiento de algas consideradas malezas en determinados cuerpos hídricos, afectando la calidad del agua destinada para el consumo humano en ciertas localidades rurales del Ecuador. Con esta investigación se cubrirán dos frentes: el de minimizar el impacto ambiental que generan las algas y el de producir un producto apetecido por la industria.

DESCRIPTORES:

Algas, Alginato de sodio, Polisacáridos, Reacciones, Gelificante

ABSTRACT

The present work used freshwater algae as raw material, belonging to the family Zygnemataceae, as a source of sodium alginate generally used as a gelling agent; the product was obtained at the laboratory level in order to determine its yield per gram of dry seaweed, the viscosity produced by the alginate in a solution was also determined. To obtain sodium alginate it was used the methodology of Hernández Carmona et al. (1999), based on ion exchange reactions; which include processes such as pre-extraction, extraction, precipitation, conversion to sodium alginate, purification and drying. The main reason why the production of alginate with this raw material has not started is due to its low yield. In this investigation, average yields of 6.08% and a viscosity of 18.12 cP were obtained, considered unfavorable results in terms of production costs, compared with values traditionally obtained with algal *Macrocystis pyrifera*, which reach peaks of yield up to 35% and viscosities that range from 500 cP. However, the impact on environmental control justifies its use, since, at the same time, it is possible to control the rapid growth of algae considered as weeds in individual water bodies, affecting the quality of water destined for human consumption in certain rural localities of Ecuador. In this way, two fronts of environmental control were covered, in addition to producing a product desired by the industry.

KEY WORDS:

Algae, Sodium alginate, Polysaccharides, Gelificant, Reactions

INTRODUCCIÓN

El alginato es uno de los polisacáridos más abundantes que se extrae de algas marinas color café, es un componente estructural de las paredes celulares y se presenta como sales de sodio, calcio o potasio, siendo utilizado en la industria de alimentos como agente de textura. Las aplicaciones más comunes son en la elaboración de postres, helados, panadería, productos lácteos, salsas, condimentos, productos procesados, sin contar con aplicaciones en el campo farmacéutico textil y demás industrias. (Ayarza León, 2014)

En 1883, E.C.C. Stanford, fue el primero en aislar el ácido algínico, acumulado en los cuerpos gelatinosos de las algas marinas *Lessonia*, aportando además de éste, algunos derivados hidrocoloides que se utilizan, hasta la actualidad, en la industria farmacéutica y cosmética. En 1920, William Wilding obtuvo la patente de la *algina*, para ser utilizada como material en odontología, posteriormente y luego de múltiples intentos en laboratorio para mejorar el agar inicial, se produjo el hidrocoloide irreversible actualmente conocido como *alginato*; sin embargo los compuestos algínicos que se presentan en la actualidad, son el resultado de investigaciones realizadas por casi treinta años en los principales países productores de alginato. (Ayaviri Pérez & Bustamante, 2013)

El alginato está constituido principalmente por dos unidades monoméricas, el ácido β -D-manurónico (M) y α -L-gulurónico, teniendo una cadena polimérica constituida principalmente por el ácido algínico. Sus sales se componen de tres tipos de bloques; los bloques G que contienen sólo unidades derivadas del ácido L-gulurónico, los bloques M compuesto por ácido D-manurónico y las regiones MG compuestas por unidades alternadas de cada uno de los ácidos. (Calvo Rebollar, 2009)

En la actualidad, el exceso de nutrientes que llegan disueltos por el uso excesivo de fertilizantes en suelos agrícolas, o en partículas de materia orgánica de vertidos en el agua, son asimilados por las algas, ocasionando un crecimiento acelerado y generando un impacto ambiental considerable denominado eutrofización. El propósito de este estudio fue encontrar una forma de aprovechamiento de estas algas a través de la obtención del gelificante, con el propósito de combatir dos frentes importantes, por un lado retirar las algas del agua para obtener el alginato de sodio, disminuyendo el proceso de eutrofización, y por otro lado producir un gelificante, sustancia con capacidad de formar geles y brindar textura adecuada a distintos productos; las algas utilizadas en este proyecto son eliminadas periódicamente de los cauces receptores, sin ningún tipo de tratamiento ya que son consideradas como maleza. (Sar, Ferrario, & Reguera, 2002)

La materia prima utilizada, pertenece a la familia *Zygnematacae*, familia de vegetales filamentosos no ramificados, que se encuentra en remansos de ríos, lagos, etc. El más conocido de los géneros de esta familia es la *Spirogyra*, que se pueden observar en primavera como masas flotantes de un color amarillo verdoso, en aguas estancadas. Presentan las paredes celulares lisas, sin poros. Los filamentos crecen de forma intercalar por alargamiento y división transversal de todas las células que lo conforman. (Sar, Ferrario, & Reguera, 2002)

MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE ALGINATOS

Método de Hernández Carmona *et al.* 1999

El proceso utiliza el alga húmeda o seca. El alga húmeda se tritura y se trata con solución diluida de formaldehído, con el objetivo de eliminar el color indeseable que generan las algas en solución. El alga seca por lo general, igualmente se tritura,

hidratándola luego por un tiempo prolongado. La principal ventaja de la trituración es que permite un manejo más fácil a nivel de planta, aumenta el área de contacto y transferencia de masa, facilitando las reacciones que intervienen durante el proceso. El alginato en el alga se encuentra principalmente como sal de calcio, la cual es insoluble en agua, y en mucha menor medida como sales de sodio, potasio, magnesio, estroncio y bario, todos estos elementos varían en función del sitio de origen de la especie de alga. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

Pre-tratamiento: se trata el alga triturada con una solución de formol para remover los compuestos fenólicos que dan el color oscuro y se hidrata en solución de HCl 1 N por periodos cortos de tiempo para transformar alginato de calcio a ácido algínico, según las reacciones descritas en la Figura 1.

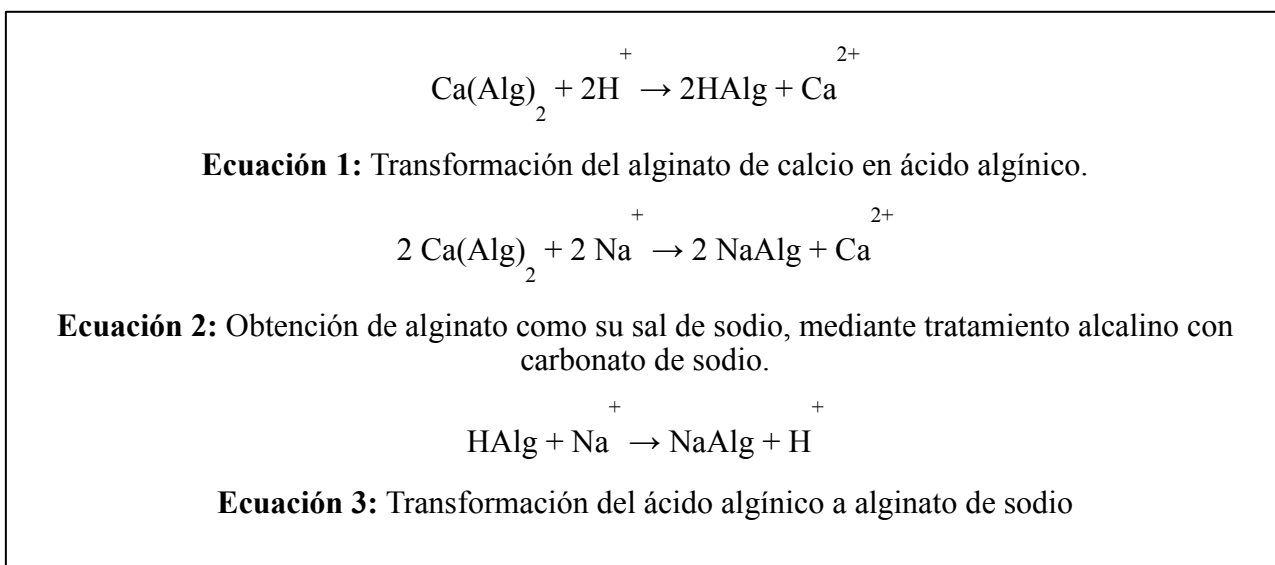


Figura 1: Ecuaciones que intervienen en el proceso de obtención de alginato de sodio. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

La conversión no es total, pero siempre se busca remover la mayor cantidad de calcio sin degradar el alginato a lo largo del proceso de reacción. El resultado del pretratamiento es un lodo de alga que se separa por medio de filtración. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

La extracción del alginato como su sal de sodio se realiza con un tratamiento alcalino, utilizando una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3), en este paso se da el intercambio iónico y neutralización ácido-base. En la parte final se tiene la transformación del ácido algínico a alginato de sodio. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

Se debe tomar en cuenta que las condiciones en que se dan las reacciones afectan la viscosidad del producto final. El alginato de sodio se disuelve formando una solución viscosa, mientras que la celulosa queda en suspensión. Para separar los residuos insolubles, es necesario diluir el extracto de cuatro a seis veces su volumen con agua destilada. Posteriormente, se filtra la solución y se procede a su purificación, para lo cual se pueden emplear dos métodos: el proceso del alginato de calcio y el proceso del ácido algínico. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998), tal como se observa en la Figura. 2.

En el primer método, la solución de alginato de sodio obtenida se añade a una solución de cloruro de calcio, dando lugar a la obtención de fibras consistentes, que se separarán más adelante; para blanquear el alginato, puede tratarse con una solución de hipoclorito de sodio, si el caso lo requiere. Luego, se reemplaza a los iones Ca^{2+} con H^+ por adición de ácido clorhídrico diluido, lo que da lugar al ácido algínico, que es también insoluble. (Ayarza León, 2014). Por último, se convierte el ácido algínico a

alginato de sodio por neutralización con álcali en solución acuosa, formándose una pasta.

En el segundo método, se precipita directamente el ácido algínico de la solución de alginato de sodio y se sigue el mismo procedimiento que se dio en el caso anterior. La pasta de alginato de sodio resultante por los dos métodos de purificación se seca y se tritura para tener una presentación uniforme. En un método alternativo, la conversión a alginato de sodio se puede realizar con álcali en suspensión con un alcohol (metanol, etanol o 2-propanol), que además ayuda a la precipitación y por ende a la separación. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998).

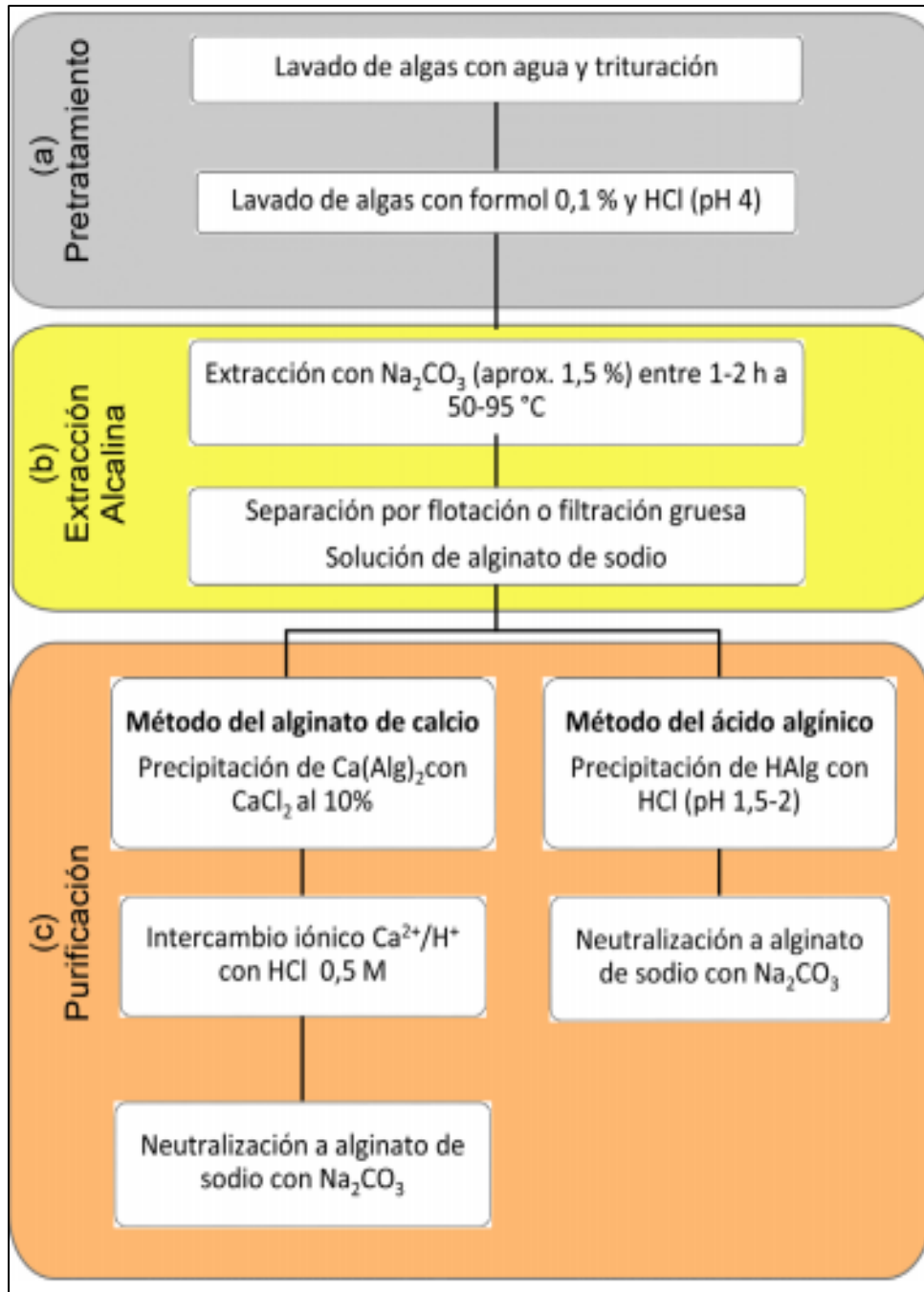


Figura 2: Diagrama de flujo para la extracción de alginato de sodio.

Fuente: (Ayarza León, 2014).

Materiales y métodos

Procedimiento de obtención de alginato de sodio a nivel laboratorio:

Se utilizó el procedimiento de obtención de alginato de sodio de Hernández-Carmona *et al.* 1999. En todas las etapas se empleó agua destilada en conjunto con reactivos químicamente puros. En primer lugar, se recolectaron las algas sin restos de materia orgánica ajena a la materia prima, en el canal de riego Pirca localizado en San José de Minas cantón Quito provincia de Pichincha; seguidamente se lavaron con agua para la eliminación de tierra y arena que aún se contenían dentro del alga. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)



Figura 3: Recolección de Algas *Zygnemataceae*.

Fuente: Autor.

Se lavaron las algas con abundante agua destilada, para luego secarlas a temperatura de 70 °C hasta que presentasen un peso constante, el proceso inició con una masa de 100 g de algas en base seca. Con la materia prima en óptimas condiciones de limpieza, se realizaron las tres etapas de extracción. La primera etapa de pre-tratamiento, consistió en el lavado y cortado de las algas, para aumentar la superficie de contacto al momento en que se dan las extracciones. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998). A continuación se hidrataron las algas con una solución de 700 ml de formol al 0,1% m/m, con el objetivo de eliminar

los compuestos fenólicos que dan un color indeseable al alginato; se procedió a acidificar la solución utilizando ácido clorhídrico 1 N hasta obtener un pH de 4, en el pre-tratamiento se debe manejar cuidadosamente el pH ya que si se trabaja con pH muy bajos que tienden a 1 hay riesgos de despolimerización ácida del polímero. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

La solución resultante del pre-tratamiento, pasa a una segunda etapa donde se realiza la extracción con carbonato de sodio al 1,5 % m/m de concentración a una temperatura de 70°C por 1,5 horas. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998). A continuación se filtró el macerado para separar la celulosa de la solución de alginato de sodio.

La etapa de purificación, siendo la última del proceso, se llevó a cabo por dos vías: la primera por el método del alginato de calcio y la segunda por el método del ácido algínico. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

Método del alginato de calcio

La solución de alginato de sodio procedente de la extracción alcalina, se precipitó agregando cloruro de calcio al 10 % m/m obteniendo alginato de calcio. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998). Para dar lugar al intercambio iónico $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{+}$, se agregó ácido clorhídrico 1 N, hasta alcanzar un pH de 4, manteniendo la agitación. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

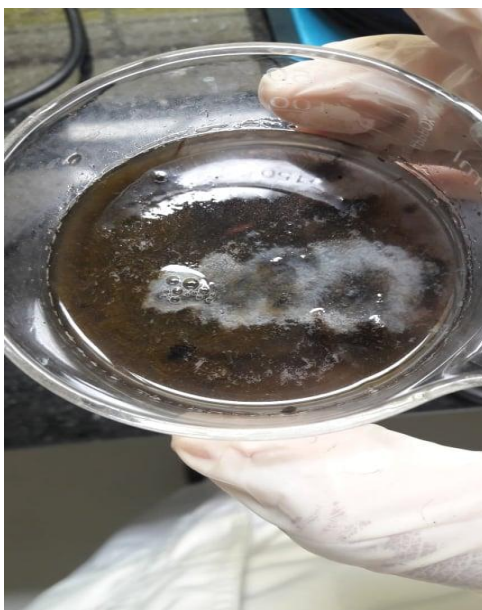


Figura 4: Precipitación del alginato de calcio
Fuente: Autor.

Para la neutralización a alginato de sodio se adicionó carbonato de sodio al 1,5 % m/m, obteniendo un precipitado que posteriormente se filtra y se seca a 50 °C hasta obtener peso constante, luego se tritura para obtener alginato de sodio en polvo. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

Método del ácido algínico

La solución resultante de la extracción alcalina se precipitó agregando una solución de ácido clorhídrico 1 N hasta un pH de 3, manteniendo constante la agitación, obteniendo ácido algínico. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998). Seguidamente se realizó el proceso de manera análoga al método descrito anteriormete en la etapa de neutralización.

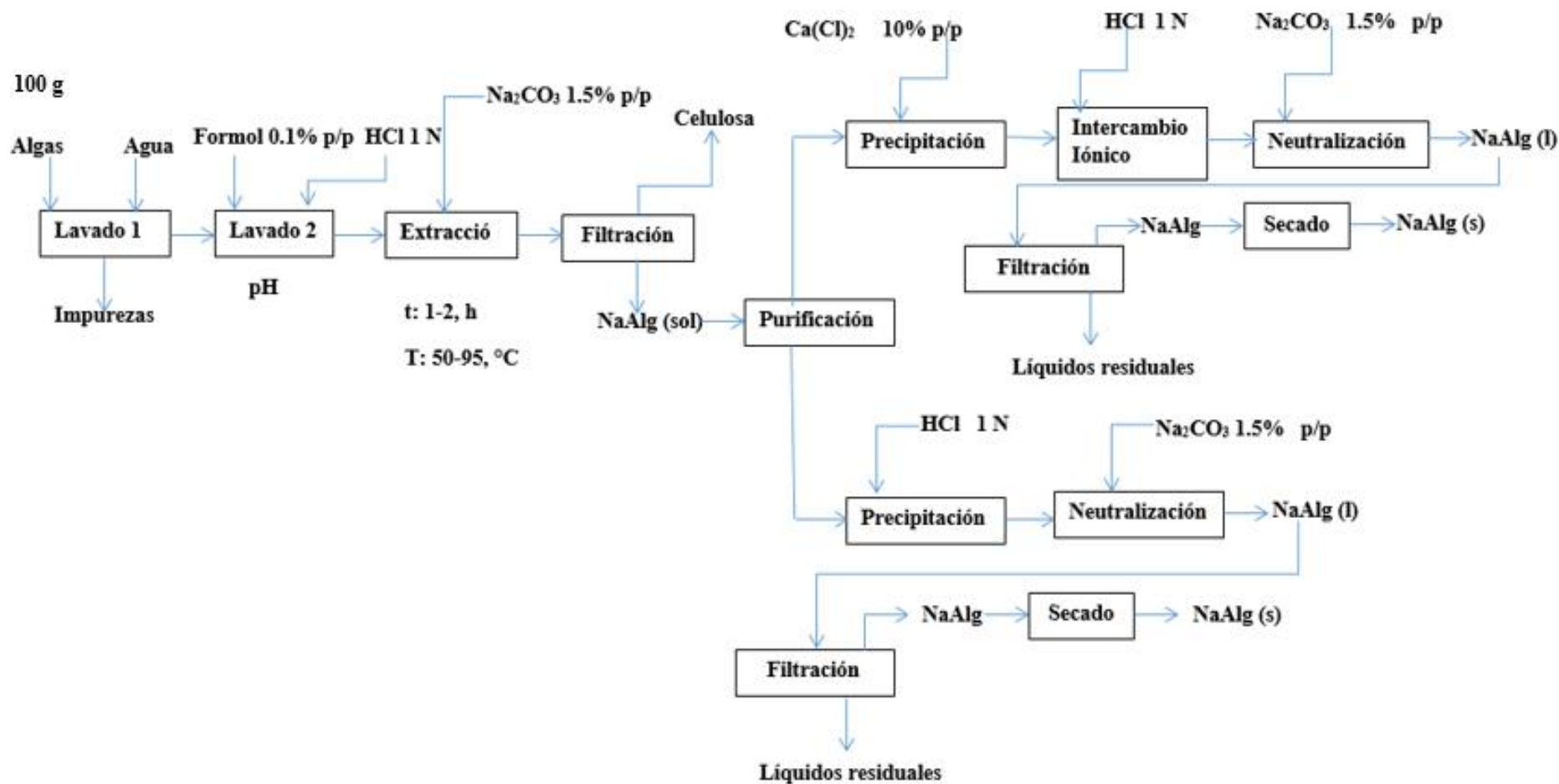
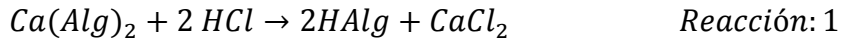


Figura 5: Diagrama de flujo del proceso de extracción de alginato de sodio por el método de Hernández-Carmona *et al.* (1999)

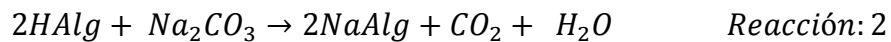
Fuente: Autor.

Reacciones que intervienen en el proceso de extracción de alginato de sodio por el método de Hernández-Carmona *et al.* 1999

Reacción en la etapa de preextracción

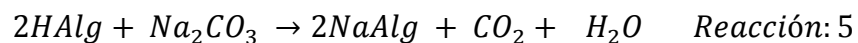
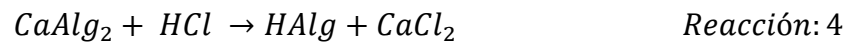
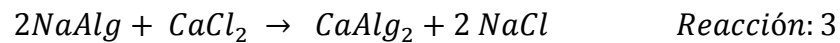


Reacción en la extracción alcalina



Reacciones en la etapa de purificación por los dos métodos

- **Reacciones en la etapa de purificación por el método del alginato de calcio**



- **Reacciones en la etapa de purificación por el método del ácido algínico**

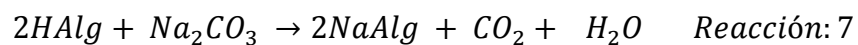
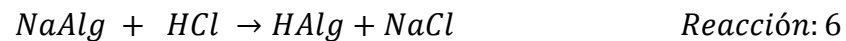


Figura 6: Reacciones en cada etapa del proceso de extracción de alginato de sodio por el método de Hernández-Carmona *et al.*

Fuente: (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Los resultados obtenidos se dieron luego de tratar algas *Zygnemataceae*, siguiendo el procedimiento del método del alginato de calcio descrito en la metodología; las condiciones de operación fueron temperatura de reacción de 70 °C, pH mínimo de 4 para tratamiento ácido y pH de 10 para tratamiento alcalino en la etapa de purificación, siempre manejando correctamente esta variable, ya que puede llegar a darse la despolimerización ácida o básica al trabajar con pH superiores o inferiores a las condiciones de trabajo (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998); se trabajó con una masa inicial de 100 g de alga seca; luego de desarrollar el proceso detallado en la Figura 2 se obtuvieron rendimientos aplicando la EC. 1 de rendimiento, viscosidades y pH cuyos valores se muestran en la Tabla 1.

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{m_{f.i. NaAlg}}{m_1} \times 100 \quad \text{EC: 1}$$

Siendo:

m1: Masa inicial de alga seca, g

mf.i: Masa final de alginato de sodio, g

% Rendimiento: Porcentaje de rendimiento, %

Tabla 1: Rendimientos, viscosidades y pH obtenidos por los dos tipos de purificación en frío y en caliente.

	Método			
	Alginato de calcio		Ácido algínico	
	T= 20°C	T= 70°C	T= 20°C	T= 70°C
Rendimiento, %	3,59	6,08	3,01	5,89
Viscosidad, cP	18,12	16,28	14,60	12,54
pH	7,3	6,96	7,1	6,9

Nota: En cuanto a los costos de producción descritos en la Tabla 2; si bien es claro los costos de producción son muy altos, respecto al alginato comercial de la casa Toptrading con un PVP de 53,76 dólares el kilogramo; como se mencionó el alginato obtenido experimentalmente tiene un costo de producción alto, esto debido a que los precios de los reactivos fueron cotizados al menor y en distintas casas comerciales de reactivos químicos, tales como: La casa de los químicos, Toptrading, Disproquim; por lo tanto si se quisiera emprender en la producción industrial de este producto, se tendría que cotizar insumos químicos directamente de fábrica o de distribuidores, logrando que los costos de producción bajen considerablemente; además de realizar investigaciones extras en procesos de producción de alginatos, que den resultados óptimos en cuanto a rendimientos.

Tabla 2: Costo de producción en dólares por cada gramo de alginato de sodio obtenido por el método del alginato de calcio y el método del ácido algínico.

	Método	
	Alginato de calcio	Ácido algínico
Costo, \$/g NaAlg	0,97	0,71

Tabla 3: Comparación de las características del alginato de sodio comercial vs obtenido experimentalmente.

Características	Comercial	Obtenido
Densidad, g/mL	0,9862	0,9456
Viscosidad, cP en solución 1% m/m	450	18,12
Color	Blanco	Amarillento
Olor	Inoloro	Inoloro
Prueba de tamices	Malla 200	Malla 100
pH, solución 1 % m/m	6,9	7,3

DISCUSIÓN

La metodología de Hernández-Carmona *et al.* 1999 utilizada en la presente investigación funcionó en lo concerniente a obtención del producto alginato de sodio, lo que fue verificado al preparar la solución al 1% m/m y al medir la viscosidad generada; obteniéndose 18,12 cP en el mejor de los casos, valor considerado bajo al ser comparado con los 450 cP de viscosidad generada por el alginato comercial en solución al 1 % m/m; además se determinó la densidad del alginato obtenido experimentalmente, teniendo como resultado 0,9456 g/mL siendo similar a la densidad del alginato comercial que presenta una densidad de 0,9862 g/mL, pudiéndose observar en la Tabla 3 en la cual se muestran la comparación entre el alginato comercial y el obtenido, presentándose características similares entre el alginato comercial y el obtenido experimentalmente.

El rendimiento de alginato de sodio obtenido, fue de 6,08%, al trabajar en caliente a temperatura de 70 °C. Estos valores son coherentes, debido a que esta especie, por ser filamentosa, debería contener baja cantidad de algina, siendo esta sustancia la que brinda dureza y flexibilidad al alga; validando la metodología que se aplicaba a extracción de alginatos pero con algas marinas como materia prima. (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998)

Por otro lado, probadas las dos vías de purificación, el método del ácido algínico y la del alginato de calcio, se obtuvieron diferentes valores en cuanto a capacidad gelificante del polímero, con viscosidades de 18,12 cP por el método del alginato de calcio y 14,60 cP por el método del ácido algínico. Se pudo establecer tendencias similares al aplicar estos dos métodos de purificación a alginatos provenientes de algas marinas con viscosidades de 876,70 cP por el método del alginato de calcio y 606 cP por el método

del ácido algínico según (Hernández Carmona, McHugh, Arvizu Higuera, & Rodríguez Montesinos, 1998).

En cuanto a rendimiento, se evidenció una pequeña variación entre los dos métodos de purificación, obteniéndose 5,89 % por el método del ácido algínico y 6.08 % por el método del alginato de calcio. Con estos resultados, se puede afirmar que tanto el método del alginato de calcio y el método del ácido algínico son eficaces en cuanto a rendimientos obtenidos; pero en cuanto a facilidad de manipulación en la etapa de precipitación se sugiere aplicar el método del alginato de calcio ya que da lugar a la formación de fibras de alginato más resistentes; que por el método del ácido algínico que genera fibras de alginato débiles, que se tornan gelatinosas, siendo complicada la manipulación y posterior separación. (Ayarza León, 2014)

El pH es un parámetro de control importante en el proceso de extracción, ya que si se trabaja con pH muy bajos o muy altos, la molécula del alginato de sodio se despolimeriza, lo que se evidencia al momento de la separación, ya que se observan fibras muy delicadas y en pequeñas cantidades, siendo complicada su separación. (Ayarza León, 2014)

Un punto importante en la producción del alginato fueron los costos de producción, los bajos rendimientos desencadenaron costos de producción altos, como se nota en la Tabla 2 correspondiente al costo de producción en dólares por cada gramo de alginato de sodio para los dos métodos de purificación; sin embargo, con materia prima de calidad y de bajo precio, mayores controles en el proceso de producción y mejor equipamiento se obtendría un producto con menos costos de producción y mayor pureza, siendo apetecido y apto para el consumo de industria farmacéutica, que podría ser fácilmente comercializado por su amplia aplicación en esta industria.

CONCLUSIONES

La extracción del alginato de sodio en caliente resultó ser la técnica más efectiva con rendimientos más altos respecto de las extracciones en frío, teniendo valores de rendimiento en caliente de 6,08 % y en frío con 3,59 %.

La viscosidad generada por el alginato fue de 14,60 cP por el método del ácido algínico y 18,12 cP por el método del alginato de calcio, valores considerados bajos comparados con el alginato de algas marinas, que arrojan valores de 876,706 cP; los valores bajos se deben a la taxonomía de la especie, ya que por ser filamentosa y delicada carece de alguna sustancia importante para la producción del alginato.

El rendimiento del alginato de sodio obtenido no se ve afectado por el tipo de purificación; en cuanto a viscosidades si existen variaciones ya que por el método del alginato de calcio arroja una viscosidad de 18,12 cP siendo mayor a la viscosidad generada por el método del ácido algínico que presenta valores de 14,60 cP.

El rendimiento de 6,08 % con algas *Zygnemataceae* es 78 % es muy bajo en comparación al 27,84 % de rendimiento que arroja la *Macrocystis pyrifera*, razón por la cual no se ha explotado la producción de alginato provenientes de algas *Zygnemataceae*, a nivel industrial, además que se necesita gran energía y agua dulce para su producción.

La producción de alginato de sodio a partir de algas *Zygnemataceae*, enfoca el aporte ambiental del aprovechamiento de este tipo de algas y la valorización del residuo ya que se lo elimina sin ningún tipo de tratamiento. El aporte ambiental de proyecto es mayor que el industrial, y la combinación de los dos aumenta el potencial del alginato obtenido con algas de agua dulce, por lo que se propondría una línea de investigación que deberá ser evaluada desde el punto de vista estrictamente ambiental para completar esta investigación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda investigar la adición de grupos funcionales de polímeros a este alginato con el fin de aumentar la viscosidad en soluciones.

Se recomienda investigar la recirculación de líquidos residuales dentro del proceso, con el fin de optimizar reactivos y por ende costos de producción.

Trabajar con asepsia a lo largo de todo el proceso, ya que es susceptible a contaminación bacteriana y por hongos.

Para el proceso de filtrado del alginato de sodio en solución se recomienda filtrarlo más de una vez y con papel filtro N° 4 ya que la solución tiende a tener pequeños restos de algas y satura el papel filtro.

Trabajar con valores de pH menores a 10 en la purificación, para evitar despolimerización del alginato.

Bajo el valor de gelificación generado en solución al 1 %, da a conocer que será mejor producir y utilizar alginato de sodio a partir de algas marinas por que arrojan altos rendimientos y que se aplican en procesos que requieran una mayor viscosidad.

Evaluar la disminución de los impactos ambientales producidos por la valorización y aprovechamiento del alga *Spirogyra* en los cauces que se encuentran en proceso de eutrofización.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Metropolitana de Quito. (2019). *Parroquia San José de Minas*. Obtenido de QuitoCultura: <http://www.quitocultura.info/venue/parroquia-san-jose-de-minas/>
- Ayarza León, J. L. (2014). Los alginatos: 20000 usos de las algas submarinas. *Revista de Química*, 28(1-2), 19-23.
- Ayaviri Pérez , R. C., & Bustamante, G. (2013). ALGINATO. *Revista de Actualización Clínica Investiga*, 5.
- Calvo Rebollar, M. (2009). *Alguinatos*. Obtenido de Bioquímica de los alimentos.: <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/alginato.html>
- Hernández Carmona, G., McHugh, D. J., Arvizu Higuera, D. L., & Rodríguez Montesinos, E. (1998). Pilot plant scale extraction of alginate from *Macrocystis pyrifera*. 1. Effect of pre-extraction treatments on yield and quality of alginate. 493-502.
- Plantas y Hongos. (29 de 08 de 2014). *Plantas y hongos*. Obtenido de Zygnema sp: <http://www.plantasyhongos.es/algas/Zygnematales.htm>
- San José de Minas - Departamento de Comunicación. (2017). *San José de Minas*. Obtenido de <http://www.sanjosedeminas.gob.ec>
- Sar, E., Ferrario, M., & Reguera, B. (2002). *Floraciones algales nocivas en el Cono Sur Americano*. España: Instituto Español de Oceanografía.
- Strasburger, E. N. (1994). *Tratado de Botánica*. Strasburger, Tratado de Botánica. Omega, Barcelona, España.: OMEGA. 35 ava edición.

Strasburger, E., Noll, F., Schenck , C., & Schimper, A. (2002). *Tratado de Botanica Strasburger*. Barcelona: Omega.

Universidad de Buenos Aires - UBA. (2017). Introducción a la Botánica. *Botánica.*, 37

Anexo 1: Imágenes del proceso de obtención de alginato de sodio en el laboratorio.



Imagen: Recolección de la muestra.

Fuente: Danilo Rafael Naranjo Guamaní



Imagen: Secado de la materia prima a temperatura ambiente.

Autor: Danilo Rafael Naranjo Guamaní



Imagen: Lavado de las algas con formaldehido.

Autor: Danilo Rafael Naranjo Guamaní

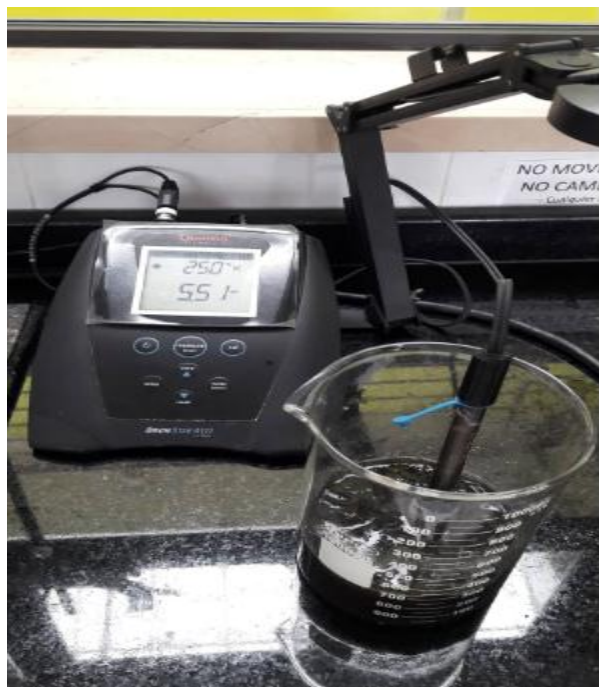


Imagen: Medición de pH.

Autor: Danilo Rafael Naranjo Guamaní

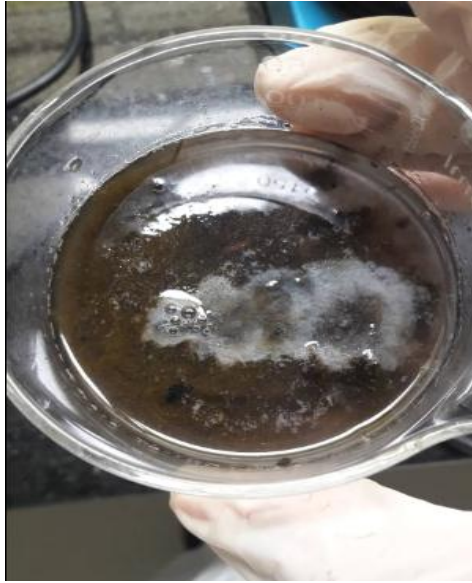


Imagen: Precipitación del Alginato después de adicionar cloruro de calcio

Autor: Danilo Rafael Naranjo Guamaní



Imagen: Extracción en caliente

Autor: Danilo Rafael Naranjo Guamaní



Imagen: Purificación del alginato mediante los métodos del alginato de calcio y el ácido algínico respectivamente

Autor: Danilo Rafael Naranjo Guamaní



Imagen: Extracción en caliente

Autor: Danilo Rafael Naranjo Guamaní



Imagen: Medición de la viscosidad de la solución de alginato de sodio comercial y obtenido al 1 % m/m

Autor: Danilo Rafael Naranjo Guamaní