



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Modalidad: Presencial

PLAN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

**“ANÁLISIS DE REUTILIZACIÓN DE INSUMOS QUÍMICOS EN EL
PROCESO DE ENCAPSULACIÓN CON ALGINATO DE SODIO”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO (A)

AGROINDUSTRIAL

**Línea de investigación: Gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo socio
económico.**

Autor: Karol Geovanna Páez Aguas

Director: MSc. Jimmy Núñez Pérez

Ibarra – 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172467740-4		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Páez Aguas Karol Geovanna		
DIRECCIÓN:	Cayambe		
EMAIL:	kgpaeza@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(02) 2110-919	TELÉFONO MÓVIL:	0983728820


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"ANÁLISIS DE REUTILIZACIÓN DE INSUMOS QUÍMICOS EN EL PROCESO DE ENCAPSULACIÓN CON ALGINATO DE SODIO"
AUTOR (ES):	Páez Aguas Karol Geovanna
FECHA: DD/MM/AAAA	03-mayo-2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Jimmy Núñez Pérez

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 03 días del mes de mayo de 2023

EL AUTOR:


Páez Aguas Karol Geovanna

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

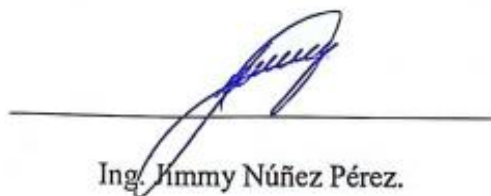
Ibarra, 18 de abril de 2023

Ing. Jimmy Núñez Pérez

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



Ing. Jimmy Núñez Pérez.

C.I: 1756606339

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “Análisis de reutilización de insumos químicos en el proceso de encapsulación con alginato de sodio” elaborado por Karol Geovanna Páez Aguas, previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



Ing. Jimmy Núñez Pérez.

C.I: 1756606339



Ing. Juan Carlos De la Vega.

C.I: 1002958856



Ing. José País.

C.I: 0959747330

DEDICATORIA

A quienes me inspiraron, me motivaron y me ayudaron a llegar hasta donde estoy:

Con mucho amor y cariño dedico mi trabajo de grado a mi familia: mami, papi, abuelita y a mi hermana Grace, ya que ellos han sido mi pilar fundamental, mi apoyo incondicional para poder iniciar y culminar mi carrera.

A mi novio Santy, mi compañero de vida, por ser mi apoyo, mi ejemplo a seguir y mi inspiración para cada día ser mejor.

A mi hijo Martín, mi regalito de Dios, quien llegó a mi vida para llenarme de amor y felicidad, quien ahora es mi motivación para superarme, crecer personal y profesionalmente.

Con mucho amor para ustedes

Karol Geovanna Páez Aguas

AGRADECIMIENTO

Cuando se trata de agradecer los valores, el impulso, la dedicación, el cuidado y principalmente el amor, las palabras sobran, de esta manera, agradezco a mis padres por el enorme esfuerzo que lograron para que pueda culminar mi carrera.

Agradezco también a mi abuelita porque siempre me tiene presente en sus oraciones y gracias a ella me siento protegida.

A mi hermana Greis que siempre ha estado junto a mí, quien fue un gran apoyo y me ayudó a culminar mis asignaturas finales.

A mi novio Santy quien siempre me ha apoyado con sus palabras de motivación, llenándome de amor y brindándome los mejores momentos día a día.

De una manera especial, agradezco al Ing. Marco Lara por ser no sólo un excelente docente sino un gran amigo, ya que con su motivación me ayudó a cumplir y lograr grandes retos durante mi carrera estudiantil.

Finalmente agradezco a mis compañeros de carrera y amigos: Kari, Leo, Gonza, Jofre y Daisy, quienes compartieron conmigo momentos y experiencias que se quedarán guardados en mi corazón por siempre, gracias por su compañerismo y apoyo para culminar cada etapa de esta carrera.

Muchas gracias por todo

Karol Geovanna Páez Aguas

RESUMEN

El proceso de encapsulación es una técnica realmente útil para la conservación de productos los cuales pueden ser comestibles o no, como es el caso de zumos y enzimas que han sido sometidos a este proceso para mantener sus características organolépticas y propiedades, protegiéndoles de factores como la humedad o las temperaturas altas, que ocasionan el deterioro de dichas sustancias. La presente investigación tiene como objetivo principal analizar la reutilización de insumos químicos en el proceso de encapsulación con alginato de sodio. Se realizó el proceso de encapsulación, posteriormente un diseño experimental DCA con arreglo factorial A x B siendo el factor A la concentración de alginato de sodio, mientras que el factor B corresponde al tiempo de encapsulación de la perla, cada factor cuenta con tres niveles.

Se determinaron los parámetros fisicoquímicos de las sustancias encapsulantes y las condiciones favorables de esferificación para cuantificar la permeabilidad y resistencia en las esferas, adicional se evaluó el potencial de reutilización de la sustancia encapsulante en este caso el Cloruro de Calcio al 10%. Para analizar y lograr estos puntos mencionados se realizó un procedimiento minucioso basado en literatura científica como apoyo al diseño experimental planteado para lograr obtener esferas de mejor calidad con mejor textura, firmeza y permeabilidad. Concluyendo que, fue posible la reutilización de los insumos químicos utilizados en el proceso de encapsulación.

PALABRAS CLAVE: encapsulación, reutilización, esferificación, perlas.

ABSTRACT

The microencapsulation process is a useful technique for preserving products that may or may not be edible, such as juices and enzymes that have been subjected to this process to maintain their organoleptic characteristics and properties, protecting them from factors such as humidity or high temperatures, which cause the deterioration of said substances. The main objective of this research is to analyze the reuse of chemical inputs in the encapsulation process with sodium alginate. The encapsulation process will be carried out, then a DCA experimental design with an A x B factorial arrangement, factor A being the concentration of sodium alginate, while factor B corresponds to the encapsulation time of the pearl, each factor has three levels.

The physicochemical parameters of the encapsulating substances and the favorable spherification conditions were determined to quantify the permeability and resistance in the spheres, additionally the potential for reuse of the encapsulating substance in this case, 10% Calcium Chloride, was evaluated. To analyze and achieve these mentioned points, a meticulous procedure based on scientific literature was carried out in support of the experimental design proposed in order to obtain better quality spheres with better texture, firmness and permeability. Concluding that, it was possible to reuse the chemical inputs used in the encapsulation process.

KEY WORDS: encapsulation, reuse, spherification, pearls.

Índice de Contenidos

Capítulo I.....	14
Introducción	14
1.1 Problema.....	14
1.2 Justificación.....	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 Hipótesis.....	16
1.4.1 Hipótesis Nula.....	16
1.4.2 Hipótesis Alternativa	16
Capítulo II.....	17
Marco Teórico	17
2.1. Encapsulación.....	17
2.1.1. Ventajas de la encapsulación.	18
2.2. Encapsulación con alginato de sodio	19
2.3. Alginato de sodio.	20
2.3.1. Propiedades del alginato de sodio.	22
2.3.2. Aplicaciones del alginato de sodio en la industria alimentaria.	22
2.4. Cloruro de Calcio	23
2.4.1. Aplicaciones del cloruro de calcio en la industria alimentaria.	24
2.5. Efecto del pH sobre la formación de perlas de alginato de sodio.	25
2.6. Efecto de la temperatura sobre la formación de perlas de alginato de sodio.	26
2.7. Efecto de la viscosidad sobre la formación de perlas de alginato de sodio.	26
2.8. Permeabilidad en las perlas de alginato de sodio.	27
2.9. Textura de las perlas de alginato de sodio.....	27
Capítulo III.....	29
Materiales y Métodos.....	29
3.1. Caracterización del área de estudio	29
3.2. Materiales y Equipos	29
3.2.1. Insumos	29
3.2.2. Equipos y Materiales de Laboratorio	30
3.3. Métodos.....	31

3.3.1. Elaborar los Parámetros Fisicoquímicos de las Sustancias Encapsulantes (Concentración de Alginato de Sodio) Utilizadas en el Proceso.....	31
3.3.2. Determinar las Condiciones Favorables de Esferificación Para Cuantificar la Permeabilidad y Resistencia en las Esferas.....	33
3.3.3. Evaluar el Potencial Midiendo los Residuales Químicos Después del Proceso de Encapsulación.....	37
3.4. Manejo Específico del Experimento	40
3.4.1. Diagrama de proceso de encapsulación con alginato de sodio y cloruro de calcio.....	41
3.4.2. Detalle del Proceso	42
Capítulo IV	47
Resultados y Discusiones	47
4.1. Elaborar los Parámetros Fisicoquímicos de las Sustancias Encapsulantes (Concentración Alginato de Sodio) Utilizados en el Proceso.....	47
4.1.1. Dato de pH de la solución de alginato de sodio.....	47
4.1.2. Dato de viscosidad de la solución de alginato de sodio.....	48
4.1.3. Dato de temperatura de la solución de alginato de sodio.....	50
4.2. Determinar las Condiciones Favorables de Esferificación Para Cuantificar la Permeabilidad y Resistencia de las Esferas.....	51
4.2.1. Variable respuesta Textura:	51
4.2.2. Variable respuesta Permeabilidad.....	54
4.3. Evaluar el Potencial Midiendo los Residuales Químicos Después del Proceso de Encapsulación.....	56
4.3.1. Cálculo de pérdida de concentración de cloruro de calcio.	56
4.3.2. Efecto de los factores con respecto a la variable textura.	60
4.3.3. Variación de la textura en base al tiempo de encapsulación.....	60
Capítulo V.....	63
Conclusiones y Recomendaciones.....	63
5.1. Conclusiones	63
5.2. Recomendaciones.....	64
Bibliografía	65
Anexos	68

Índice de Figuras

Figura 1 Goteo de alginato de sodio para formación de perlas.	17
Figura 2 Formación de perlas de alginato de sodio con zumo encapsulado.....	20
Figura 3 Modelo “caja de huevo” que describe la estructura del Alginato	21
Figura 4 Transformación del alginato a gel.....	28
Figura 5 Diagrama de proceso de encapsulación con alginato de sodio y cloruro de calcio.....	41
Figura 6 Alginato de sodio y cloruro de calcio utilizados para el proceso.....	42
Figura 7 Pesado de alginato de sodio.....	43
Figura 8 Mezclado y licuado de la solución de alginato de sodio.	43
Figura 9 Reposo de la mezcla en refrigeración.....	44
Figura 10 Eliminación de grumos o capas sólidas del recipiente	45
Figura 11 Encapsulación de perlas de alginato de sodio	45
Figura 12 Medición de textura y pérdida de concentración de cloruro de calcio.....	46
Figura 13 Gelificación de alginato de sodio con pH propio de la solución 8.4.....	48
Figura 14 Formación de perlas de alginato a una viscosidad de 53.49cP a 53.79 cP.....	49
Figura 15 Resistencia Vs Temperatura al 2% de concentración de alginato de sodio en un tiempo de 30 min.	50
Figura 16 Análisis Tukey de la variable textura	54
Figura 17 Pérdida de concentración de CaCl ₂ por reutilización, alginato al 2.0% encapsulado en 30 min.....	59
Figura 18 Comparación de la variable Textura en una solución pura de CaCl ₂ Vs la solución reutilizada tres veces durante 30 min de encapsulación	61

Índice de Tablas

Tabla 1. Ubicación del experimento	29
Tabla 2. Variables evaluadas en la muestra de alginato de sodio.	31
Tabla 3. Descripción de cada nivel del factor A	33
Tabla 4. Descripción de cada nivel del factor B.	34
Tabla 5. Descripción de cada uno de los tratamientos planteados.	35
Tabla 6. Variables de respuesta evaluadas.	35
Tabla 7. Variables evaluadas posterior a la encapsulación de las perlas	38
Tabla 8. Concentración molar de CaCl_2	39
Tabla 9. Resultados de viscosidad de cada solución de alginato de sodio.....	49
Tabla 10. Resultados del análisis de Textura de las perlas de alginato de sodio en función a la relación Concentración de alginato de sodio/ Tiempo, para la medición de resistencia y dureza.	51
Tabla 11 Análisis de varianza de la textura	53
Tabla 12. Clasificación de permeabilidad (cm/h)	55
Tabla 13 Permeabilidad de las esferas obtenidas de distintas concentraciones de alginato de sodio.	55
Tabla 14 Concentración de cloruro de calcio sin encapsular una solución.	57
Tabla 15 Primera reutilización de cloruro de calcio encapsulando alginato de sodio al 2.0%	58
Tabla 16 Segunda reutilización de cloruro de calcio encapsulando alginato de sodio al 2.0% ...	58
Tabla 17 Tercera reutilización de cloruro de calcio encapsulando alginato de sodio al 2.0%. ...	59

Índice de Anexos

Anexo 1 Ficha Técnica del Alginato de Sodio	68
Anexo 2 Ficha Técnica del Cloruro de Calcio.....	73
Anexo 3 Residuo sólido de cloruro de calcio para el cálculo de pérdida de concentración en el proceso	74
Anexo 4 Medición de la textura de la perla de alginato con el texturómetro Shimadzu EZ-SX de carga max 50 N.	74
Anexo 6 Formación de perlas de alginato de sodio y cloruro de calcio.	74
Anexo 5 Caracterización de la mezcla de alginato de sodio.	74

Capítulo I

Introducción

1.1 Problema

Mientras avanza el campo industrial, se implementan y descubren nuevos procesos, como es el caso de la encapsulación que ha sido aplicada en la industria farmacéutica, química, cosmetológica, gastronómica y alimentaria para la producción y conservación de alimentos.

Al realizar la encapsulación no se utiliza el 100% de las sustancias que intervienen, a pesar de que el alginato de sodio y el cloruro de calcio son aptos para el consumo en las dosificaciones formuladas, la manera de desechar el cloruro de calcio al terminar este proceso no es la correcta pues se debe realizar de manera cuidadosa eliminando el producto y su recipiente como residuos peligrosos, eliminar el contenido/recipiente de conformidad como indica la normativa local, regional, nacional e internacional para evitar daños ambientales (Roth, 2021), los puntos mencionados generan un aumento en los costos de producción y lo que se requiere es la optimización de recursos para realizar un adecuado proceso de encapsulación.

La industria del alginato de sodio es realmente interesante y útil, sin embargo, no existen estudios que resalten el potencial de reutilización de las sustancias químicas que intervienen y se desaprovechan en este proceso. Por otro lado, existe el desconocimiento de si estos insumos químicos tienen el mismo potencial de encapsulación posterior a una reutilización como en su primer uso, es decir, si no modifican las características físicas en este caso: dureza, rigidez o textura de su producto final, desaprovechando su reutilización, logrando reducir costos en el proceso.

1.2 Justificación

La industria alimentaria ha implementado ciertos procesos innovadores y entre estos se encuentra la encapsulación de alimentos que son útiles y ayudan a la conservación de alimentos y sustancias que requieren de un adecuado almacenamiento. La técnica de encapsulación con alginato debido a su versatilidad ha sido utilizada como estabilizador, aglutinante, espesante, gelificante y formador de películas delgadas sobre alguna superficie (Avedaño Romero, López, Palou, & Palou, 2013).

Este proceso es aplicado como barrera protectora de diversos compuestos de interés industrial para ser encapsuladas; por lo que es importante utilizar los recursos e insumos químicos de forma eficiente que intervienen en el proceso en ánimo de aumentar la productividad y generar una reducción de costos. Con la presente investigación se propone estudiar la reutilización de las sustancias químicas que intervienen durante el proceso de encapsulación con la finalidad de reducir residuos químicos en el proceso, con la reutilización de estos y reducir el impacto ambiental, de esta manera obtener un procedimiento eficaz y estandarizado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Analizar la reutilización de insumos químicos en el proceso de encapsulación con alginato de sodio.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar los parámetros fisicoquímicos de las sustancias encapsulantes (concentración alginato de sodio) utilizadas en el proceso.
- Determinar las condiciones favorables de esferificación para cuantificar la permeabilidad y resistencia en las esferas.
- Evaluar el potencial midiendo los residuales químicos después del proceso de encapsulación.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis Nula

H₀=. No todos los residuos químicos generados durante el proceso de encapsulación son adecuados para ser utilizados en nuevos ciclos.

1.4.2 Hipótesis Alternativa

H_a=. Los residuos químicos generados en el proceso de encapsulación presentan potencialidad para ser empleados en nuevos ciclos.

Capítulo II

Marco Teórico

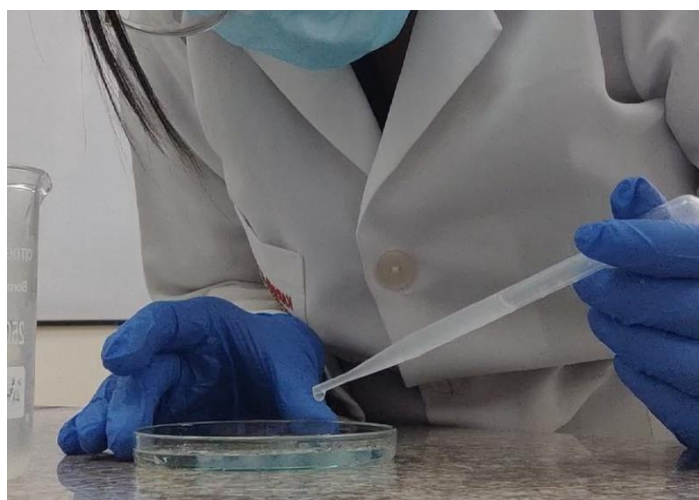
2.1. Encapsulación

La encapsulación se la define como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa (Araneda & Valenzuela, 2009). El proceso del goteo para la formación de perlas se observa en la Figura 1. En la encapsulación se presenta una membrana, misma que realiza la función de película o barrera la cual está principalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Fuchs, y otros, 2006).

Además, en la industria de los alimentos, se utiliza de igual manera el término de microencapsulación, cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades, aunque los dos términos, encapsulación y microencapsulación, se emplean indistintamente, pero tienen el mismo principio (Yañez, Salazar, Chaires, Jimenez, & Marquez, 2002)

Figura 1

Goteo de alginato de sodio para formación de perlas.



Elaborado por: (Autor, 2022)

2.1.1. Ventajas de la encapsulación.

La industria de alimentos utiliza la técnica de encapsulación por distintas razones, según (Pérez, Bueno, Bizuela, Tortoló, & Gatón, 2013) detallan las siguientes ventajas:

- Disminuye la velocidad de evaporación o de transferencia del material central hacia el medio ambiente externo.
- Controla la liberación del material central a condiciones predeterminadas, como el cambio de pH o humedad, la aplicación de calor o los estímulos físicos.
- Reduce la interacción entre el material central y el ambiente externo: algunos ingredientes son sensibles al calor, la luz y la humedad y otros son altamente reactivos y tienden a oxidarse y volatilizarse.
- Facilita la manipulación del material central: la encapsulación convierte un líquido a estado sólido, además previene la agregación, favorece el proceso de mezclado y asegura que el material central se encuentre uniforme en la mezcla.
- Enmascara el sabor del material central
- Brindar protección al material activo de la degradación producida por el medio ambiente mediante varios factores como son: calor, aire, luz, humedad.
- Las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo, la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra.
- El compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o es atrapado en un punto determinado.

- El sabor y olor del material puede ser enmascarado.
- Puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no reaccionen.
- Estabilización de principios activos inestables.
- Transformación de líquidos en sólidos (Astray, Mejuto, Rial, González, & Simal, 2009).

Dentro de la industria alimentaria las aplicaciones de esta técnica se han ido incrementando debido a la protección de los materiales encapsulados de varios factores, manteniendo en condiciones adecuadas alargando la vida útil del alimento. Según (Ortega, 2019) las razones para aplicar la encapsulación en la industria alimenticia son:

- Reducir la reactividad del núcleo con los diferentes efectos ambientales como la humedad, la oxidación, la acción de la luz, etc.
- Disminuir la velocidad de transferencia del componente activo que forma parte del núcleo hacia el exterior.
- Promover un fácil manejo o manipulación.

2.2. Encapsulación con alginato de sodio

La encapsulación con alginato de sodio es un proceso que forma esferas o perlas que están elaboradas con alginato de sodio como material de encapsulación, como se muestra en la Figura 2, es posible gelificar líquidos comestibles, en este caso un zumo.

En los últimos años, los polímeros naturales o biopolímeros han adquirido gran importancia en el área biomédica, especialmente en el desarrollo de nuevas terapias celulares, donde se utilizan para proteger y contener células y/o tejidos viables en membranas semipermeables o como agentes

encapsulantes y transportadores de diversos fármacos y principios activos. (Neira Carrillo, y otros, 2013).

Figura 2

Formación de perlas de alginato de sodio con zumo encapsulado.



Tomado de: (Ortega, 2019)

Según (Lopretti & Olazabal, 2014) afirma que “La encapsulación con alginato de sodio es un método que permite mejorar la viabilidad de los microorganismos. El alginato presenta una amplia distribución de usos y al ser una proteína aporta un componente nutricional añadido.” Por su parte (González, Lupo, & Maestro, 2012) menciona que, de igual manera, uno de los polímeros más empleados en esta la técnica de encapsulación, es el alginato el cual forma una matriz altamente versátil, biocompatible y no tóxica para la protección de componentes activos, células o microorganismo sensibles al calor, pH, oxígeno, luz entre otros factores que los alimentos son expuestos durante el procesamiento y almacenamiento.

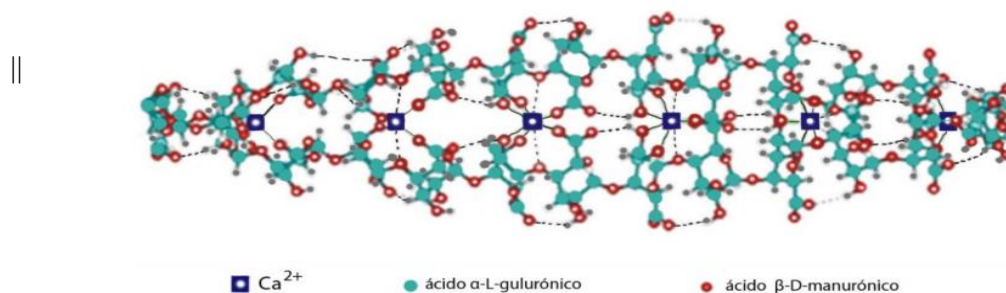
2.3. Alginato de sodio.

Es un polímero extraído a partir de algas y utilizado como un agente encapsulante; tiene como características: no tóxico, biocompatible, y facilidad de solubilización (Nazzaro, Fratianni, Coppola, Sada, & Orlando, 2009). Adicional a ello (Hurtado et al., 2020) nos indican que el alginato de sodio es amigable con el medio ambiente ya que no es tóxico, es biodegradable, biocompatible, soluble en agua y renovable, este componente es extraído habitualmente de algas pardas, este biomaterial está aprobado por la Food and Drug Administration (FDA) para uso en aplicaciones alimenticias.

La encapsulación con alginato de sodio se basa en la capacidad de este material para formar geles sólidos cuando se expone a iones de calcio, lo que permite la retención de las sustancias encapsuladas en su interior. En la encapsulación con alginato de sodio, se prepara una solución de alginato de sodio y se mezcla con las células o moléculas que se van a encapsular, luego, esta mezcla se extruye a través de una boquilla en una solución de calcio, donde se forma un gel sólido que encapsula las sustancias, su estructura microscópica es llamada caja de huevo como lo indica la Figura 3. El tamaño y la forma de las partículas encapsuladas se pueden controlar mediante la selección del tamaño de la boquilla y las condiciones de la solución de calcio.

Figura 3

Modelo “caja de huevo” que describe la estructura del Alginato



Tomado de: (Avedaño Romero, López, Palou, & Palou, 2013).

El alginato es un polisacárido que se encuentra presente de manera abundante en las algas. Según (Avedaño, Romero, Lopez, & Palou, 2013) el alginato comprende hasta un 40% de su peso seco. Es un componente estructural de la pared celular de las algas, cuya función principal es dar rigidez, elasticidad, flexibilidad y capacidad de enlazar agua. La viscosidad de las soluciones de alginato depende de la longitud de las moléculas, cuanto mayor sea la longitud de las cadenas más alta será la viscosidad.

2.3.1. Propiedades del alginato de sodio.

Según (Avedaño, Lopez Malo, & Palou, 2013) la aplicación de los alginatos se basa en cuatro propiedades principales:

- La primera concierne a su habilidad como espesantes al ser disueltos en agua, generando un aumento en la viscosidad de la solución en la que se disuelven.
- La segunda a su capacidad de retener agua.
- La tercera se debe a su habilidad de formar un gel a partir de una serie de reacciones químicas de intercambio iónico que le dan lugar a la formación de enlaces entre cadenas adyacentes de polímero del alginato.
- La cuarta se basa en la propiedad de formar películas.

2.3.2. Aplicaciones del alginato de sodio en la industria alimentaria.

El alginato de sodio se utiliza en la industria alimentaria por sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes. A continuación, se detallan algunas de las aplicaciones más comunes de este aditivo en la industria alimentaria.

- **Gelificación y formación de películas:** Gelifica y forma películas en productos alimenticios como postres, salsas, jugos y bebidas. También se puede utilizar para encapsular ingredientes como vitaminas, sabores y colorantes.
- **Estabilización de emulsiones:** Es utilizado como agente estabilizante en emulsiones, como la mayonesa y la salsa tártara.
- **Espesamiento de alimentos líquidos:** Se utiliza para espesar alimentos líquidos como bebidas y sopas, sin alterar el sabor y la textura.
- **Reducción de la absorción de grasas:** Es un adecuado ingrediente para reducir la absorción de grasas en alimentos, como productos de panadería y postres.

Cabe recalcar que la aplicación del alginato de sodio dentro de la industria alimentaria ha sido realmente útil y se ha convertido en un aporte importante en la mejora de los procesos de conservación de alimentos.

2.4. Cloruro de Calcio

El cloruro de calcio (CaCl_2) es una sal de calcio y un compuesto inorgánico que suele ser utilizado para fines industriales desde la industria alimentaria hasta la medicina. En la formación de perlas este compuesto se utiliza como agente encapsulante debido a sus propiedades y capacidad para formar complejos con polímeros naturales y sintéticos permitiendo la retención de las sustancias a ser encapsuladas. Varios estudios han demostrado que formar perlas con este componente mejora el proceso para la elaboración de sustancias encapsuladas, demostrando ser una técnica prometedora.

Se han realizado estudios acerca de la encapsulación de varios compuestos y en este proceso se ha utilizado el cloruro de calcio como agente encapsulante, se ha demostrado que la

esferificación utilizando este compuesto, ha mejorado la estabilidad de lo encapsulado y su capacidad para inhibir el crecimiento bacteriano. Adicional a ello, el cloruro de calcio se ha utilizado en procesos como la encapsulación de enzimas, existe un estudio de (Villarreal et al., 2019) el cual indica que se encapsuló la enzima fenilalanina amonio liasa y los resultados correspondientes a esta investigación arrojaron que mejoró la estabilidad de la enzima junto con su actividad catalítica.

2.4.1. Aplicaciones del cloruro de calcio en la industria alimentaria.

El cloruro de calcio es un compuesto químico que se utiliza comúnmente en la industria alimentaria por sus propiedades como agente endurecedor, agente de firmeza, agente de clarificación y agente de fortificación mineral. A continuación, se presentan algunas aplicaciones del cloruro de calcio en la industria alimentaria:

- **Fortificación mineral:** se utiliza como fuente de calcio en algunos alimentos, especialmente en productos lácteos y bebidas. El calcio es esencial para la formación y mantenimiento de huesos y dientes fuertes, así como para otras funciones corporales. (FAO, 2023)
- **Agentes de firmeza y textura:** mejora la firmeza y textura de los productos alimenticios. También se utiliza en la producción de queso para mejorar la textura y prevenir la formación de moho. (POCHTECA, 2010)
- **Agentes clarificantes:** es agente clarificante en la producción de cerveza y vino. El compuesto ayuda a eliminar impurezas y sedimentos del líquido, lo que mejora su sabor y apariencia. (Ribéreau-Gayon et al., 2014)
- **Agente de control de la humedad:** tiene esta función en algunos alimentos, como los productos horneados y los productos cárnicos. El compuesto ayuda a mantener la humedad

adecuada en los alimentos, lo que mejora su calidad y prolonga su vida útil. (Carlos et al., 2009)

- **Agentes antiaglutinantes:** se utiliza como agente antiaglutinante en algunos alimentos en polvo, como la sal y el azúcar. El compuesto ayuda a prevenir la formación de grumos y mejora la capacidad de flujo del polvo.

Con la importancia necesaria se debe tomar en cuenta que el uso de cloruro de calcio en la industria alimentaria debe cumplir con los estándares y regulaciones pertinentes para garantizar la seguridad y calidad de los productos alimenticios.

2.5. Efecto del pH sobre la formación de perlas de alginato de sodio.

Las perlas de alginato se utilizan como vehículos de liberación de sustancias en varias aplicaciones, como la encapsulación de aromas y sabores en varias industrias. El pH es un factor importante que puede afectar la estabilidad y la capacidad de liberación de las perlas de alginato ya que cuando el pH del medio circundante cambia, puede afectar las propiedades físicas y químicas del alginato y, por lo tanto, la estructura y la capacidad de liberación de sustancias contenidas en las esferas.

En general, el alginato tiene una carga negativa y su capacidad para formar geles depende de la presencia de iones de calcio en el medio. (Lupo Pasin, 2014) Indica que, en soluciones ácidas, los iones de calcio pueden disociarse del alginato y afectar la estructura de la perla, lo que puede provocar la liberación prematura de la sustancia activa. Por otro lado, en soluciones alcalinas, los iones de calcio pueden precipitarse, lo que puede disminuir la capacidad de la perla para liberar la sustancia activa. Es importante considerar el pH adecuado para lograr la liberación controlada de la sustancia activa encapsulada en las perlas de alginato.

2.6. Efecto de la temperatura sobre la formación de perlas de alginato de sodio.

La temperatura es un factor crítico en la formación de perlas de alginato de sodio, ya que afecta la velocidad de la reacción química que forma las perlas. En general, se ha observado que una temperatura más baja resulta en una formación de perlas más lenta pero más uniforme, mientras que una temperatura más alta puede producir perlas más grandes y menos uniformes, pero con una formación más rápida (Cortez Ávila et al., 2016). En algunos estudios se ha encontrado que la temperatura óptima para la formación de perlas de alginato de sodio es alrededor de 25-30°C, ya que permite una formación uniforme y eficiente de las esferas. Además, se ha demostrado que temperaturas extremadamente bajas o altas pueden afectar negativamente la calidad de las perlas formadas, por lo que se recomienda mantener la temperatura dentro de un rango óptimo para lograr los mejores resultados.

2.7. Efecto de la viscosidad sobre la formación de perlas de alginato de sodio.

La viscosidad puede tener un efecto significativo sobre la formación de perlas de alginato. Un valor alto puede hacer que la solución de alginato sea más difícil de manejar y puede afectar la uniformidad y la calidad de las perlas. Por otro lado, un valor bajo puede hacer que la solución se disperse demasiado rápido en el líquido y no forme perlas correctamente. Para obtener esferas de alginato uniformes y de alta calidad, es importante controlar cuidadosamente la viscosidad del alginato durante todo el proceso de producción. (De et al., s. f.) Esto se puede lograr ajustando la concentración de alginato y la velocidad de agitación, así como utilizando agentes espesantes o diluyentes según sea necesario para ajustar este parámetro. En resumen, la viscosidad del alginato puede tener un impacto significativo en la formación de perlas de alginato y es importante

controlarla cuidadosamente durante la producción de perlas de alginato para asegurar una calidad consistente y uniforme.

2.8. Permeabilidad en las perlas de alginato de sodio.

La permeabilidad de las perlas de alginato de sodio se refiere a la capacidad de las perlas para permitir el flujo de líquidos y gases a través de su superficie. Este parámetro es importante porque puede afectar la eficacia de la encapsulación y la liberación controlada de los ingredientes encapsulados. La permeabilidad de las perlas de alginato de sodio depende de varios factores, como la concentración de alginato, la concentración de calcio, el tamaño de las perlas y la temperatura.

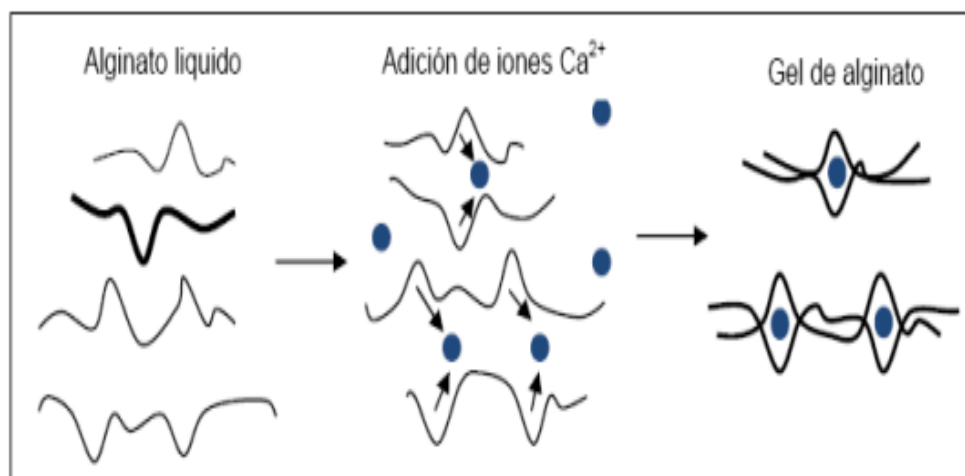
En general, las perlas de alginato de sodio más pequeñas tienen una mayor permeabilidad que las perlas más grandes, y las perlas hechas con una concentración más baja de alginato de sodio y calcio son más permeables que las perlas hechas con una concentración más alta. Para controlar este parámetro en las perlas de alginato de sodio, se puede utilizar técnicas como la modificación química de la superficie, la adición de agentes reductores y la selección de condiciones de curado específicas (*Programa de Estudios de Posgrado, s. f.*). Estas técnicas pueden ayudar a mejorar la eficacia de la encapsulación y la liberación controlada de los ingredientes encapsulados en las perlas de alginato de sodio.

2.9. Textura de las perlas de alginato de sodio.

La textura de las perlas de alginato de sodio depende de varios factores, como la concentración de alginato en la solución de baño, la velocidad de extrusión de la solución de baño a través de la solución de calcio y el tiempo de permanencia de las perlas en la solución de calcio. En general, las perlas de alginato de sodio son esféricas y tienen una textura suave y gelatinosa (Bonilla Valladares, s. f.). En la figura 4 se observa la transformación del alginato junto con el

calcio a gel. La textura de las perlas ya formadas puede variar de suave y gelatinosa a firme y masticable, dependiendo de las condiciones de producción.

Figura 4
Transformación del alginato a gel.



Tomado de: (Lopez & Villalta, 2009)

En la producción de perlas de alginato de sodio, primero se crea una solución de baño de alginato de sodio y se la agita vigorosamente para crear burbujas de aire. Luego, la solución de baño se extruye a través de una jeringa o un dispositivo similar en una solución de calcio, este hace que la solución de alginato se solidifique en perlas esféricas. Después de la formación de las perlas, se lavan para eliminar el exceso de calcio y se almacenan en una solución salina para evitar que se sequen y se vuelvan pegajosas. La textura final de las perlas depende de la cantidad de agua que contienen, de la concentración de alginato en la solución de baño, la velocidad de extrusión, el tiempo de permanencia en la solución de calcio, el tamaño y la cantidad de agua que contienen las esferas. Las perlas más pequeñas tienen una textura más suave, mientras que las más grandes pueden tener una textura más firme y masticable.

Capítulo III

Materiales y Métodos

3.1. Caracterización del área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura. La fase de desarrollo experimental se efectuó en el laboratorio de Análisis Experimental e Innovación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) de la Universidad Técnica del Norte (UTN). La tabla 4 detalla las características del lugar.

Tabla 1.

Ubicación del experimento

DATOS CLIMATOGRÁFICOS DE IBARRA	
Provincia	Imbabura
Cantón:	Ibarra
Ciudad:	Ibarra
Lugar:	Laboratorios de Análisis Experimental e Innovación
Altitud:	2250 m.s.n.m
HR. Promedio:	73%
Temperatura:	17.4°C
Pluviosidad:	503 – 1000 mm. año

Tomado de: (Gobierno Autónomo Descentralizado San Miguel de Ibarra, 2018).

3.2. Materiales y Equipos

En la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales, sustancias, reactivos y equipos:

3.2.1. Insumos

- Alginato de Sodio (Grado analítico)

- Cloruro de Calcio (CaCl_2)

3.2.2. Equipos y Materiales de Laboratorio

- Balanza analítica $\text{Ap. } \pm 0.01 \text{ g a } 500 \text{ g}$
- Potenciómetro $\text{Ap} = \pm 0,01$
- Texturómetro N
- Viscosímetro rotacional cP
- Cronómetro $\text{A} = [\pm 0,01 \text{ s}]$
- Licuadora de inmersión
- Vasos de precipitación $\text{Vol} = 250 \text{ cm}^3, 100 \text{ cm}^3 \text{ y } 600 \text{ cm}^3$
- Matraz aforado $\text{Vol} = 100 \text{ ml y } 25 \text{ ml}$
- Probetas $\text{Ap. } \pm 1.0 \text{ ml a } 100 \text{ ml}$
- Pipetas Pasteur $\text{Vol} = 3 \text{ cm}^3$
- Jeringa $\text{Vol} = 20 \text{ ml}$
- Embudo de vidrio
- Colador de acero inoxidable
- Papel aluminio
- Papel filtro

3.3. Métodos

3.3.1. Elaborar los Parámetros Físicoquímicos de las Sustancias Encapsulantes (Concentración de Alginato de Sodio) Utilizadas en el Proceso.

Se realizaron pruebas de encapsulación para determinar las mejores condiciones del proceso, de esta manera, se inicia el experimento evaluando los parámetros físicoquímicos adecuados para la encapsulación con el objetivo de que las cápsulas sean resistentes, rígidas, consistentes y aptas para ser aplicadas en cualquier proceso. Con respecto a la concentración de alginato de sodio se evaluó el pH, viscosidad y temperatura de cada muestra a distinta concentración, mientras que, para la determinación de los parámetros físicoquímicos de la concentración de cloruro de calcio se utilizó bibliografía pues este es el medio encapsulante y ya se encuentra establecido el porcentaje de concentración adecuado para el proceso de encapsulación.

Los análisis físicoquímicos empleados para este experimento fueron realizados en los Laboratorios de microbiología de la UTN, mismos que se detallan a continuación:

Tabla 2.

Variables evaluadas en la muestra de alginato de sodio.

Análisis	Método	Unidad
pH	NTE INEN 0973	Adimensional
Viscosidad	Viscosímetro rotacional	cP
Temperatura	Termómetro	°C

Elaborado por: (Autor, 2022)

- **Proceso para la obtención de datos de pH de la solución.**

Método: NTE INEN 0973 (Adimensional)

Fundamento: Determinación electrométrica del pH en una muestra, utilizando un electrodo de vidrio que mide el cambio eléctrico producido por el cambio de pH.

Procedimiento:

- Efectuar la determinación por duplicado sobre la muestra.
- Lavar los electrodos con agua destilada y calibrar el aparato a la temperatura de la muestra, utilizando una solución de referencia cuyo pH sea similar al esperado para la muestra. En todo caso, deberán seguirse las instrucciones del fabricante.
- Colocar la muestra en el vaso de precipitación; introducir los electrodos y efectuar la determinación del pH.
- **Proceso para la obtención de datos de viscosidad de la solución.**

Equipo: Viscosímetro rotacional (cP)

Para la realización del análisis de viscosidad y obtención de datos de la solución se utilizó un viscosímetro rotacional 1001612 STS-2011 R.

Procedimiento:

- Depositar 500 ml del líquido de muestra previamente preparada en un vaso de precipitación.
- Colocar el vaso con la muestra bajo el equipo, bajar el cabezal hasta que el husillo se introduzca en la muestra hasta la marca indicada.
- En este proceso se utilizó el husillo R2 a una velocidad de 100 rpm.
- **Proceso para la obtención de datos de temperatura de la solución.**

Equipo: Termómetro (°C)

Para la obtención de datos de temperatura de la solución se utilizó el termómetro que se encuentra presente en el potenciómetro JW-3510 (pH-metro).

Procedimiento:

- Depositar la muestra previamente preparada en un vaso de precipitación.
- Sumergir el termómetro en el vaso de precipitación que contiene la muestra hasta que se genere la lectura del dato respectivo en el equipo.

3.3.2. Determinar las Condiciones Favorables de Esferificación Para Cuantificar la Permeabilidad y Resistencia en las Esferas.

En el experimento realizado se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial A x B en el que (A) corresponde a concentración de alginato de sodio y (B) representa el tiempo.

3.3.2.1. Factores en estudio

En el experimento realizado asumieron como factores en estudio en el proceso de encapsulación los siguientes: concentración de alginato de sodio y tiempo, mismos que son detallados a continuación:

- **Factor A: Concentración de alginato de sodio.**

Se utilizó tres niveles de concentración como sustancias a encapsular que se encuentran detallados en la tabla 3, el nivel 3 ya se encuentra establecido según bibliografía y experimentación obtenida de (Ortega, 2019), (Ayala, 2020).

Tabla 3.

Descripción de cada nivel del factor A

NIVELES DEL FACTOR	
A	
A1	1.2%
A2	1.6%
A3	2.0%

Elaborado por: (Autor, 2022).

- **Factor B: Tiempo**

Se aplicaron tres niveles en el factor tiempo para determinar si existe una variación significativa al dejar reposar el alginato de sodio en la solución de cloruro de calcio durante distintos tiempos que se encuentran detallados en la tabla 4.

Tabla 4.

Descripción de cada nivel del factor B.

NIVELES DEL FACTOR	
B	
B1	6 min
B2	9 min
B3	30 min

Elaborado por: (Autor, 2022).

- **Tratamientos**

Establecidos los dos factores en estudio, es este caso: Concentración de alginato de sodio y tiempo, se realizó la combinación de los distintos niveles y de estos se obtuvo como resultado nueve tratamientos que se encuentran especificados en la tabla 5.

Tabla 5.

Descripción de cada uno de los tratamientos planteados.

TRATAMIENTOS	COMBINACIONES	DESCRIPCIÓN
T1	A1B1	1.2%, 6 min
T2	A2B1	1.6%, 6 min
T3	A3B1	2.0%, 6 min
T4	A1B2	1.2%, 9 min
T5	A2B2	1.6%, 9 min
T6	A3B2	2.0%, 9 min
T7	A1B3	1.2%, 30 min
T8	A2B3	1.6%, 30 min
T9	A3B3	2.0%, 30 min

Elaborado por: (Autor, 2022).

3.3.2.2. *Variables de respuesta evaluadas*

En la presente investigación se evaluaron a las perlas de alginato con los distintos tratamientos realizados las variables que se detallan en la tabla 6:

Tabla 6.

Variables de respuesta evaluadas.

Análisis	Método	Unidad
Textura	Análisis de perfil de textura	N
Permeabilidad	Permeámetro de Carga constante	cm/s

Elaborado por: (Autor, 2022).

- **Determinación de textura**

Para obtener los datos de textura se trabajó con un texturómetro Shimadzu EZ-SX de carga máx. 50 N, utilizando una aguja de corte en V, de alrededor de un 1 mm, con una velocidad de ensayo de 1 mm/s.

Procedimiento:

- Colocar la muestra de la perla posterior a su tratamiento correspondiente en la plataforma del texturómetro.
- Iniciar la medición con el método previamente establecido en el software del equipo.
- Obtener el resultado en cuanto la aguja penetre la perla.

- **Determinación de permeabilidad**

El método utilizado para obtener los datos correspondientes fue el de carga constante para la determinación de permeabilidad en suelos, mismo que fue acompañado de un desarrollo práctico para conseguir los datos iniciales con los cuales se realizará el experimento para medir la permeabilidad de las perlas de alginato de sodio.

Procedimiento:

- En un recipiente tipo cono de 500 ml de capacidad, colocar las perlas de alginato de sodio previamente elaboradas, se debe tomar en cuenta que el recipiente debe tener una base que pueda ser descubierta para eliminar el líquido que va a ser medido.
- Cubrir las perlas con agua, retirar el cubre base del recipiente.
- Verificar la cantidad de derrame del líquido durante un tiempo de 30 min.
- Realizar los cálculos respectivos obtenidos con la fórmula de carga constante:

Datos

Altura (L): 0.4 cm

Diámetro (d): 0.4 cm

Carga (h): 10 cm

Tiempo (t): 15 min= 900 s

Caudal (Q): 1.7 cm³

- **Ecuación 1.** Cálculo de permeabilidad de perlas encapsuladas con 1.2% de alginato de sodio.

$$K = \frac{QL}{tAh}$$

$$K = \frac{(1.7 \text{ cm})^2 (0.5 \text{ cm})}{(900 \text{ s}) (0.5)^2 \frac{\pi}{4} (10 \text{ cm})}$$

$$K = 0.00075158 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$K = 2.7 \frac{\text{cm}}{\text{h}}$$

3.3.3. Evaluar el Potencial Midiendo los Residuales Químicos Después del Proceso de Encapsulación.

Se evaluó el potencial de los residuales químicos para determinar si es factible la reutilización de insumos químicos utilizados en el proceso de encapsulación verificando mediante datos obtenidos si al reutilizar el cloruro de calcio que es el medio encapsulante se modifica o varía en gran porcentaje la textura, de igual manera analizando si hay pérdida de cloruro de calcio

después de cada tratamiento encapsulado. En la presente investigación se analizaron las variables que se encuentran descritas en la tabla 7:

Tabla 7.

Variables evaluadas posterior a la encapsulación de las perlas

Análisis	Método	Unidad
Textura	Análisis de perfil de textura	N
Concentración de cloruro de calcio	Método gravimétrico	g/L

Elaborado por: (Autor, 2022).

- **Determinación de textura**

Se trabajó con un texturómetro Shimadzu EZ-SX de carga max. 50 N y se realizó el mismo procedimiento aplicado para el cumplimiento del segundo objetivo.

- **Concentración de cloruro de calcio**

Para la obtención de datos con respecto a la residualidad de la concentración de cloruro de calcio se utilizó un método gravimétrico.

Procedimiento:

- Inicialmente se obtiene los datos de la concentración molar o molaridad del Cloruro de Calcio (CaCl_2) que se encuentran detallados en la tabla 8.
- Pesar un matraz aforado vacío, de preferencia utilizar una pipeta para más precisión.
- Llenar el matraz aforado o la pipeta con la solución de cloruro de calcio, en este caso se utilizó 10cc de solución.
- Pesar el matraz aforado o pipeta con los 10cc de solución.
- Calcular la densidad con los datos obtenidos de lo descrito anteriormente.

- Pesar una cápsula de porcelana vacía.
- Llenar la cápsula de porcelana con los 10cc de solución de cloruro de calcio y pesarla nuevamente.
- Hervir la solución colocando la cápsula de porcelana en una cocineta, dejándola a fuego máximo hasta que no quede nada de líquido.
- Retirar del fuego el cloruro de calcio seco, colocarlo en un desecador hasta que se enfríe y pesar.
- Realizar los cálculos respectivos para obtener los datos que se requieren, los datos se calcularon con la siguiente ecuación:

Tabla 8.*Concentración molar de CaCl₂*

Concentración molar o molaridad g/mol CaCl₂	
Ca	40.08
Cl	35.45
CaCl₂	110.98

Nota: Para iniciar los cálculos es importante obtenerlos valores de la concentración molar o molaridad.

- **Ecuación 2.** Primer cálculo de concentración utilizando la cápsula 1

Datos:

Peso vacío Cápsula 1: 24.0900 g

Peso lleno Cápsula 1: 25.0921 g

L de disolución: 0.01 L

$$\begin{aligned}
 &= 25.0921 \text{ g} - 24.0900 \text{ g} \\
 &= 1.0032 \text{ g CaCl}_2 \text{ en } 50 \text{ cc de disolución}
 \end{aligned}$$

$$[CaCl_2]: \frac{m}{v}$$

$$[CaCl_2]: \frac{1.0021 \text{ g}}{0.01 \text{ L}}$$

$$[CaCl_2]: \mathbf{100.21 \text{ g/L}}$$

- **Ecuación 3.** Segundo cálculo de concentración utilizando la cápsula 2

Datos:

Peso vacío Cápsula 2: 44.9553 g

Peso lleno Cápsula 2: 45.9582 g

L de disolución: 0.01 L

$$= 45.9582 \text{ g} - 44.9553 \text{ g}$$

$$= 1.0076 \text{ g } CaCl_2 \text{ en } 50 \text{ cc de disolución}$$

$$[CaCl_2]: \frac{m}{v}$$

$$[CaCl_2]: \frac{1.0029 \text{ g}}{0.01 \text{ L}}$$

$$[CaCl_2]: \mathbf{100.29 \text{ g/L}}$$

La interpretación y explicación de los datos obtenidos serán detallados en el capítulo IV.

3.4. Manejo Específico del Experimento

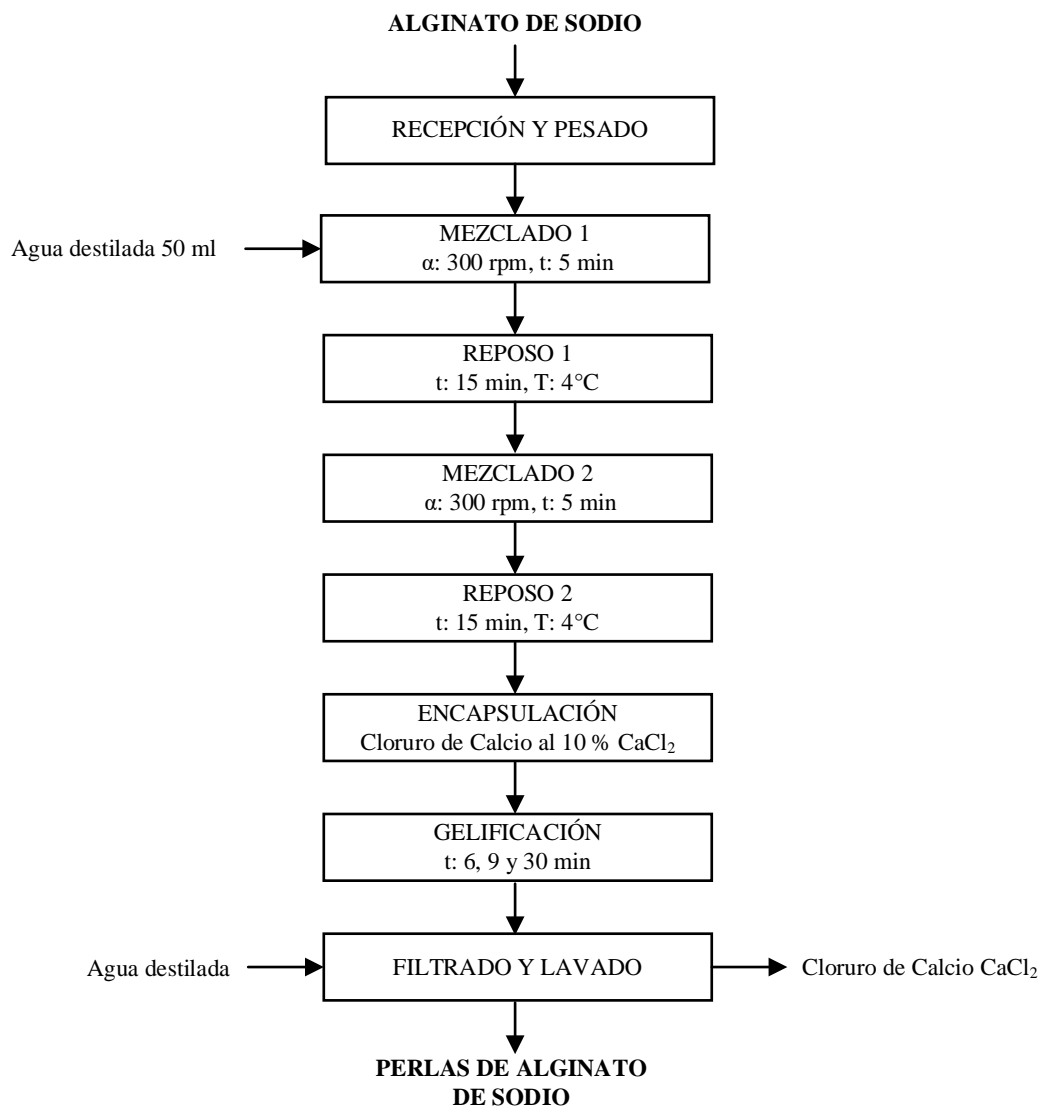
Se utilizó como referencia datos obtenidos de investigaciones que se realizaron en la Universidad Técnica del Norte (UTN), de estos datos parte la investigación para determinar si las sustancias químicas en este caso el cloruro de calcio que es el medio encapsulante se puede reutilizar, para esto se ejecutó un proceso de encapsulación con alginato de sodio y cloruro de calcio basado en la experimentación de (Ortega, 2019) y (Ayala, 2020) analizando principalmente el perfil de textura y concentración de cloruro de calcio.

3.4.1. Diagrama de proceso de encapsulación con alginato de sodio y cloruro de calcio de calcio.

En la figura 5 se describe a detalle el proceso principal con respecto a la encapsulación:

Figura 5

Diagrama de proceso de encapsulación con alginato de sodio y cloruro de calcio



Elaborado por: (Autor, 2022).

3.4.2. Detalle del Proceso

En esta sección se describe todo el proceso y metodologías aplicadas en la presente investigación.

3.4.2.1. Encapsulación con alginato de sodio y cloruro de calcio.

De este proceso parte la investigación, para iniciar el experimento se necesita formar las perlas de alginato de sodio encapsuladas en cloruro de calcio. CaCl_2

→ *Recepción de materias primas.*

El alginato de sodio y cloruro de calcio fueron adquiridos en M&M importaciones en la ciudad de Ibarra (Figura 6).

Figura 6

Alginato de sodio y cloruro de calcio utilizados para el proceso.



Elaborado por: (El Autor, 2022)

→ *Pesado.*

Se pesó las cantidades establecidas de alginato de sodio para cada experimento, en este caso 0.6 g, 0.8 g y 1.0 g. Con respecto al cloruro de calcio se midió y se colocó en un vaso de precipitación aparte 30 ml de sustancia que es la cantidad que establecen investigaciones ya realizadas anteriormente.

Figura 7
Pesado de alginato de sodio.



Elaborado por: (El Autor, 2022)

→ *Primer mezclado*

Se mezcló el porcentaje de alginato de sodio correspondiente de cada a cada tratamiento con 50 ml de agua destilada y se homogenizó la mezcla con una licuadora de inmersión a 300 rpm durante 5 minutos aproximadamente.

Figura 8
Mezclado y licuado de la solución de alginato de sodio.



Elaborado por: (El Autor, 2022)

→ *Primer reposo*

Posterior al mezclado realizado, se dejó reposar la mezcla de alginato de sodio con agua destilada en refrigeración a una temperatura de aproximadamente 4°C durante 15 min.

Figura 9

Reposo de la mezcla en refrigeración



Elaborado por: (El Autor, 2022)

→ *Segundo mezclado*

Posterior al reposo en refrigeración suele formarse grumos y una capa sólida en la base del recipiente, para eliminar estas capas se procedió a mezclar una segunda vez nuevamente con la licuadora de inmersión o con un agitador y se deja reposar nuevamente por 15 min en el refrigerador.

Figura 10

Eliminación de grumos o capas sólidas del recipiente



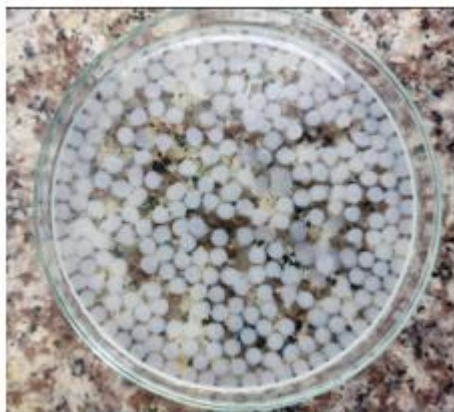
Elaborado por: (El Autor, 2022)

→ ***Encapsulación y Gelificación***

Se procede a gotear la mezcla del alginato de sodio en la solución de 30 ml de cloruro de calcio al 10%, posterior a ello se dejan reposar las perlas de alginato durante los tiempos establecidos por cada tratamiento, mismos que son: 6, 9 y 30 min.

Figura 11

Encapsulación de perlas de alginato de sodio



Elaborado por: (El Autor, 2022)

→ *Aplicación de metodologías para obtener los resultados*

A partir de las perlas de alginato encapsuladas que fueron elaboradas se aplicó las distintas metodologías establecidas, se realizó la medición de textura, pérdida de concentración de cloruro de calcio y se obtuvieron los datos correspondientes.

Figura 12

Medición de textura y pérdida de concentración de cloruro de calcio.



Elaborado por: (El Autor, 2022)

Capítulo IV

Resultados y Discusiones

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos de la investigación.

4.1. Elaborar los Parámetros Físicoquímicos de las Sustancias Encapsulantes (Concentración Alginato de Sodio) Utilizados en el Proceso.

Para establecer los parámetros adecuados durante la encapsulación con alginato de sodio y cloruro de calcio, se utilizó fuentes bibliográficas y experimentación, evaluando cuáles son los mejores parámetros físicoquímicos con respecto a: pH, viscosidad y temperatura durante el proceso.

4.1.1. Dato de pH de la solución de alginato de sodio.

La investigación bibliográfica obtenida de (Ayala, 2020) nos indica que el pH adecuado de la solución de alginato de sodio es el propio de la solución, que, dependiendo de la concentración de alginato de sodio va alrededor de los 8.00 a 9.60 ya que, si el pH disminuye o hay un cambio brusco, existe una complejidad al momento de encapsular afectando al comportamiento del polímero porque la viscosidad aumenta, sin embargo, los resultados obtenidos de (Ortega, 2019) indican que el pH adecuado para la encapsulación según su investigación es de 5 ya que no presentó dificultades al momento de gotear hacia la solución encapsulante, en la figura 13 se observa las perlas de alginato formadas con un valor dentro del rango del pH propio de la solución que en este caso fue de 8.4.

Figura 13

Gelificación de alginato de sodio con pH propio de la solución 8.4



Elaborado por: (El Autor, 2022).

Dicho esto, se procedió a evaluar la mejor condición, realizando una experimentación de las condiciones indicadas por (Ayala, 2020) verificando de esta manera si lo dicho es lo más adecuado para esta investigación. Finalmente se concordó con la investigación de (Ayala, 2020) dado que al momento de experimentar con el pH propio de la solución de alginato de sodio se obtuvo un excelente resultado, con mayor facilidad al momento de realizar el goteo y obteniendo perlas con mejor morfología y más apropiadas para el proceso.

4.1.2. Dato de viscosidad de la solución de alginato de sodio.

El dato adecuado de viscosidad para el proceso de encapsulación fue obtenido por un viscosímetro rotacional 1001612 STS-2011 R mismo que dio como lectura lo detallado en la siguiente tabla:

Tabla 9.

Resultados de viscosidad de cada solución de alginato de sodio.

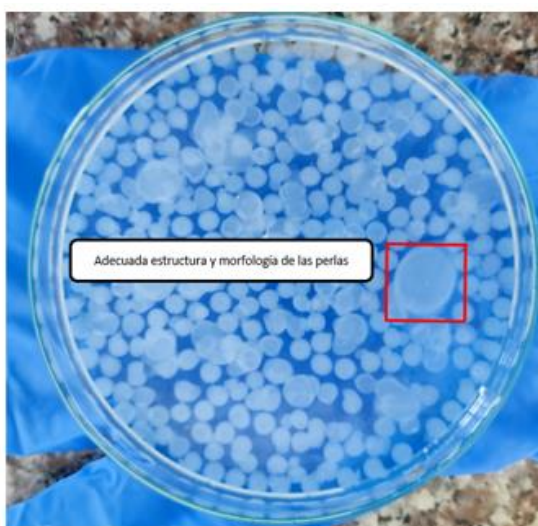
Viscosidad Solución de Alginato de Sodio		
Concentración	Valor	UM
1.20%	53.49±0.04	cP
1.60%	53.69±0.03	cP
2.00%	53.79±0.03	cP

Elaborado por: (El Autor, 2022)

(Ortega, 2019) indica en su investigación que se debe establecer un valor adecuado de viscosidad para que la solución gotee de manera exitosa y se obtengan perlas con mejor forma y estructura. Dadas estas indicaciones se obtuvo valores que se encuentran en un rango similar que va de 53.49 cP a 53.79 cP, esto dependió de que la diferencia de las concentraciones en los distintos tratamientos no varía significativamente, en la figura 14 se encuentran las perlas formadas dentro del rango de estos datos.

Figura 14

Formación de perlas de alginato a una viscosidad de 53.49cP a 53.79 cP.



Elaborado por: (El Autor, 2022)

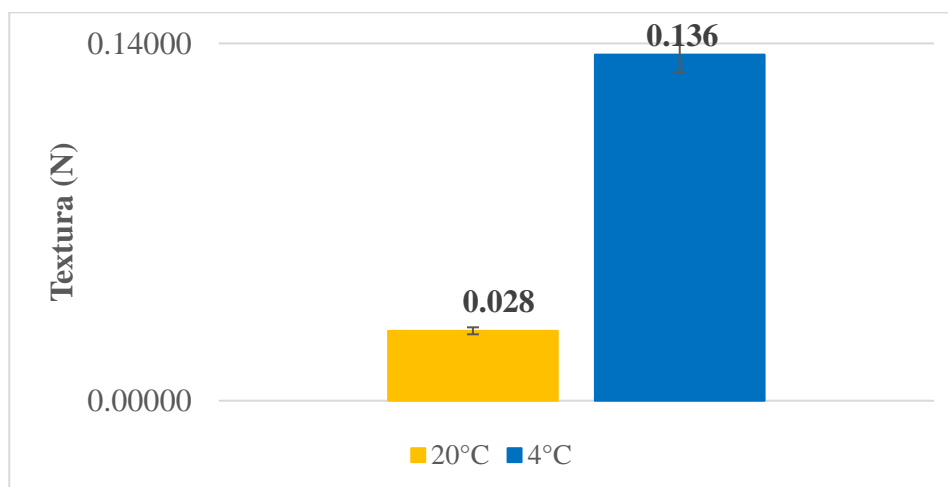
Se determinó que la viscosidad propia de la solución previamente preparada de alginato de sodio es adecuada para el proceso de encapsulación ya que se obtuvo perlas resistentes y con buena morfología como se puede observar en la figura 14, como dato adicional se menciona que la viscosidad depende de la temperatura.

4.1.3. Dato de temperatura de la solución de alginato de sodio.

En el proceso de la preparación de alginato de sodio detalla que se reposa en refrigeración a una temperatura de 4 °C. (Ayala, 2020) indica que si la solución de alginato es sometida a distintas temperaturas la viscosidad no varía significativamente y la razón es porque el alginato es capaz de formar geles independientemente de la temperatura a la que se trabaje. Dadas estas indicaciones se procedió a evaluar el comportamiento de la perla que fue encapsulada en una solución a temperatura ambiente y la otra a la temperatura establecida en nuestro proceso (4 °C).

Figura 15

Resistencia Vs Temperatura al 2% de concentración de alginato de sodio en un tiempo de 30 min.



Elaborado por: (El Autor, 2022)

El siguiente análisis presentado en la figura 15 muestra el comportamiento de la textura frente a la temperatura, demostrando que a menor temperatura aumenta la textura y por ende la rigidez de la perla, mientras que a mayor temperatura el valor de la textura disminuye, siendo de entre las dos temperaturas, la de 4°C la más adecuada para nuestro proceso.

4.2. Determinar las Condiciones Favorables de Esferificación Para Cuantificar la Permeabilidad y Resistencia de las Esferas.

Posterior a la formación de perlas de alginato se procedió a evaluar la resistencia y permeabilidad de las esferas, mediante el análisis de perfil de textura y permeabilidad, de esta manera se definió cuáles son las condiciones favorables para el proceso de esferificación.

4.2.1. Variable respuesta Textura:

Con la formación de las esferas de alginato de sodio, se procedió a realizar el análisis de la textura de las perlas con el texturómetro Shimadzu EZ-SX de carga max. 50 N para determinar cuál tratamiento demuestra ser el más adecuado arrojando un valor más elevado en fuerza.

Tabla 10.

Resultados del análisis de Textura de las perlas de alginato de sodio en función a la relación Concentración de alginato de sodio/ Tiempo, para la medición de resistencia y dureza.

Concentración de alginato de Sodio (%)	Tiempo (min)	Tratamiento	Valor (N)	Rango Estadístico
1.20%	6 min	A1B1	0.03±0.01	D
	9 min	A1B2	0.04±0.01	D
	30 min	A1B3	0.10±0.02	B
1.60%	6 min	A2B1	0.03±0.01	D
	9 min	A2B2	0.05±0.01	D
	30 min	A2B3	0.13±0.04	A
2.00%	6 min	A3B1	0.03±0.01	D
	9 min	A3B2	0.06±0.01	CD
	30 min	A3B3	0.14±0.03	A

Nota: El mejor tratamiento y el rango estadístico se obtuvo del software estadístico InfoStat Versión Estudiantil

En la tabla 10 se detallan los resultados obtenidos con respecto a la variable textura vs el tiempo de encapsulación, según la estadística obtenida del software InfoStat Versión Estudiantil las combinaciones de A2B3 y A3B3 corresponden a los mejores tratamientos, sin embargo, para esta investigación, el mejor y más adecuado es el A2B3 es decir la combinación del 1.6% de concentración de alginato de sodio encapsulado en un tiempo de 30 min. En este tratamiento se utiliza menor cantidad de alginato de sodio lo que significa la reducción de costos de producción en el proceso de encapsulación, pero obteniendo perlas rígidas con la dureza adecuada, este resultado concuerda con el trabajo de (Aviles Cabral et al., 2018) quienes indicaron que el rendimiento obtenido posterior a inmovilizar enzimas en una concentración del 1.6% de alginato de sodio era muy considerable a comparación de sus otros tratamientos con concentraciones distintas.

Seguido se encuentra la combinación A1B3, esta y las anteriores mencionadas demuestran que los tratamientos con los datos más elevados con respecto a la textura y por ende a la dureza de una perla de alginato, se obtienen de la encapsulación a un nivel correspondiente de 30 min, es decir lo que garantiza la rigidez y dureza en las perlas es el tiempo de encapsulación.

Tabla 11
Análisis de varianza de la textura

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Valor-F	p-valor
Modelo	0.08	8	0.01	29.95	<0.0001
Factor A	3.6 E-03	2	1.8 E-03	5.34	0.0093
Factor B	0.07	2	0.04	110.8	<0.0001
Factor A * Factor B	2.5 E-03	4	6.2 E-04	1.83	0.1451
Error	0.01	36	3.4 E-04		
Total	0.09	44			

Nota: Datos estadísticos obtenidos del Software InfoStat Versión Estudiantil

La variable respuesta textura fue obtenida posterior a la gelificación de las perlas de alginato de sodio encapsuladas en una solución concentrada de cloruro de calcio al 10 %, los resultados fueron analizados y se encuentran detallados en la tabla 11, mismos que corresponden al análisis de varianza. Los valores del factor A y B tienen un p-valor menor a 0.05, posterior al análisis del efecto de los factores en estudio sobre la variable textura o dureza, se obtuvo como resultado que el factor A que corresponde a los niveles de concentración de alginato de sodio y el factor B que hace relación al tiempo de encapsulación son significativos, este dato se obtuvo posterior a la realización del análisis ANOVA y al análisis tukey que se presenta en la Figura 16.

Figura 16
Análisis Tukey de la variable textura

```

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03830
Error: 0.0003 gl: 36
Factor A Factor B Medias n E.E.
-----
a3      b3      0.14  5 0.01  A
a2      b3      0.13  5 0.01  A
a1      b3      0.10  5 0.01  B
a3      b2      0.06  5 0.01  C D
a2      b2      0.05  5 0.01  D
a1      b2      0.04  5 0.01  D
a3      b1      0.03  5 0.01  D
a2      b1      0.03  5 0.01  D
a1      b1      0.03  5 0.01  D
-----
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

```

Nota: Datos estadísticos obtenidos del software InfoStat Versión Estudiantil

Dado este análisis se determinó que las medidas de texturas mayores se obtuvieron cuando la solución se encapsula a mayor tiempo, en este caso a 30 min. Adicional a ello los datos detallados indicaron que no es recomendable la interacción entre los factores A y B ya que los resultados arrojan que no son significativos, lo que indica que los factores unidos no influyen en el proceso, pero separados sí.

4.2.2. Variable respuesta Permeabilidad

Posterior a la realización del experimento tomando como referencia el cálculo de la permeabilidad del suelo, se obtuvo los datos con la fórmula del permeámetro de carga constante.

Para la interpretación de los datos que fueron obtenidos posterior al experimento realizado en la presente investigación, se tomó como referencia la Tabla 12 detallada que fue obtenida de la investigación de (Loyola Gomez et al., 2014) misma que incorpora la variable cualitativa velocidad con su correspondiente valor cuantitativo.

Tabla 12.
Clasificación de permeabilidad (cm/h)

Velocidad	Tiempo
Muy Lenta	menos de 0,15
Lenta	0,15 a 0,50
Relativamente lenta	0,5 - 2,0
Moderada	2,0 - 6,5
Relativamente rápida	6,5 - 15,0
Rápida	15 a 25
Muy rápida	más de 25

Obtenido de: (Loyola Gómez et al., 2014)

Dada la información presentada anteriormente que fue guía para la interpretación de datos con respecto al cumplimiento de la medición de la permeabilidad de las distintas soluciones para elaborar las esferas, se detallan los resultados en la Tabla 13:

Tabla 13
Permeabilidad de las esferas obtenidas de distintas concentraciones de alginato de sodio.

PERMEABILIDAD		
Concentración	Valor	UM
1.2%	2.6±0.01	cm/h
1.6%	2.2±0.01	cm/h
2.0%	0.7±0.01	cm/h

Elaborado por: (El Autor, 2022)

Se obtuvo como resultado, en el caso del experimento con 1.2% de concentración de alginato de sodio un promedio de 2.6 cm/h es decir presenta una permeabilidad con velocidad moderada al igual que el experimento con 1.6% de concentración de alginato de sodio ya que resultó con un promedio de 2.2 cm/h de permeabilidad. Con respecto al experimento con 2.0% de concentración de alginato de sodio dio como resultado un valor promedio de 0.7 cm/h que, según la tabla de interpretaciones de (Loyola Gomez et al., 2014) indica que presenta una permeabilidad

con velocidad relativamente lenta, los tres experimentos realizados fueron encapsulados en el tiempo mayor establecido en la investigación que es de 30 minutos.

Finalmente, se determinó que el tratamiento más adecuado desde el punto de vista funcional es el de 1.2% de concentración de alginato de sodio pues se utiliza menor cantidad de alginato de sodio para la encapsulación y se encuentra en el rango de velocidad de permeabilidad moderada con respecto a la tabla de referencias obtenida de (Loyola Gomez et al., 2014). Además se estableció que 1.2% es el mejor experimento debido a que existe mayor permeabilidad que es lo que se requiere en esta investigación, adicional a ello, se optimizan costos de producción con el uso menor de alginato de sodio.

4.3. Evaluar el Potencial Midiendo los Residuales Químicos Después del Proceso de Encapsulación.

Una vez que se formaron las esferas de alginato de sodio se procede al análisis de las variables textura y pérdida de concentración de cloruro de calcio. Para la obtención de estos resultados se utilizó el texturómetro Shimadzu EZ-SX de carga max. 50 N con su aguja corte en V y el método gravimétrico para calcular los datos de pérdida de concentración de cloruro de calcio.

4.3.1. Cálculo de pérdida de concentración de cloruro de calcio.

La pérdida de la concentración del cloruro de calcio en cada encapsulación fue evaluada con un método gravimétrico. En las tablas 14, 15 y 16 se presentan los valores obtenidos de la medición con respecto a pérdida de concentración de cloruro de calcio. Cada experimento se realizó en dos cápsulas de porcelana distintas.

Tabla 14*Concentración de cloruro de calcio sin encapsular una solución.*

Cloruro de Calcio al 10 % sin encapsular				
	Peso vacío (g)	Peso lleno (g)	Concentración de CaCl₂ (g/L)	Molaridad
Cápsula 1	24.09	25.09	100.21	0.903
Cápsula 2	44.96	45.96	100.29	0.904

Elaborado por: (El Autor, 2022)

Para evaluar la pérdida de concentración de cloruro de calcio se realizó un primer experimento con la solución al 10% sin haber sido utilizada para el proceso de encapsulación. Inicialmente se pesó cada una de las cápsulas de porcelana vacías, se colocó la solución en la capsula y se procedió a hervir hasta que no quedó nada de líquido únicamente residuo seco, se pesó nuevamente para realizar los cálculos respectivos. En la tabla 14 se detallan los resultados obtenidos de este primer experimento con las cápsulas de porcelana 1 y 2 fueron de 100.21 g/L y 100.29 g/L respectivamente, mismos que se obtuvieron dividiendo la masa en gramos del soluto entre el volumen de la muestra en litros.

La variación de los datos pudo ser por los materiales utilizados al momento de realizar el experimento ya que no fueron tan precisos, sin embargo, los resultados obtenidos nos indican que se puede iniciar a la validación de los siguientes tratamientos para determinar si existe una pérdida de concentración de cloruro de calcio al momento de reutilizar esta sustancia cuando se encapsula alginato de sodio y en el caso de pérdida, determinar si es factible su reutilización comprobando si no afecta significativamente a la rigidez o dureza de las perlas de alginato de sodio.

Tabla 15*Primera reutilización de cloruro de calcio encapsulando alginato de sodio al 2.0%*

Cloruro de Calcio al 10 % encapsulado 50 ml de alginato de sodio al 2.0 % a 30 min (1ra reutilización)				
	Peso vacío (g)	Peso lleno (g)	Concentración de CaCl₂ (g/L)	Molaridad
Cápsula 1	24.09	25.04	94.69	0.853
Cápsula 2	44.96	45.89	94.35	0.850

Elaborado por: (El Autor, 2022)

Interpretando los resultados presentados en la Tabla 15 podemos decir que en la primera reutilización de la solución de cloruro de calcio al momento de encapsular 50 ml de alginato de sodio con una concentración del 2.0% durante 30 minutos de encapsulación se perdió 5.52 g/L y 5.94 g/L al momento de realizar el experimento en las cápsulas 1 y 2 respectivamente.

Tabla 16*Segunda reutilización de cloruro de calcio encapsulando alginato de sodio al 2.0%.*

Cloruro de Calcio al 10 % encapsulado 50 ml de alginato de sodio al 2.0% a 30 min (2da reutilización)				
	Peso vacío (g)	Peso lleno (g)	Concentración de CaCl₂ (g/L)	Molaridad
Cápsula 1	24.09	24.98	88.72	0.799
Cápsula 2	44.96	45.84	88.65	0.798

Elaborado por: (El Autor, 2022)

Con respecto a los resultados obtenidos de la segunda reutilización de la solución de cloruro de calcio presentados en la Tabla 16 nos indica que al encapsular 50 ml de solución de alginato de sodio al 2.0% de concentración de alginato de sodio encapsulada a 30 minutos existe una pérdida de 5.97 g/L y 5.70 g/L en las cápsulas 1 y 2.

Tabla 17

Tercera reutilización de cloruro de calcio encapsulando alginato de sodio al 2.0%.

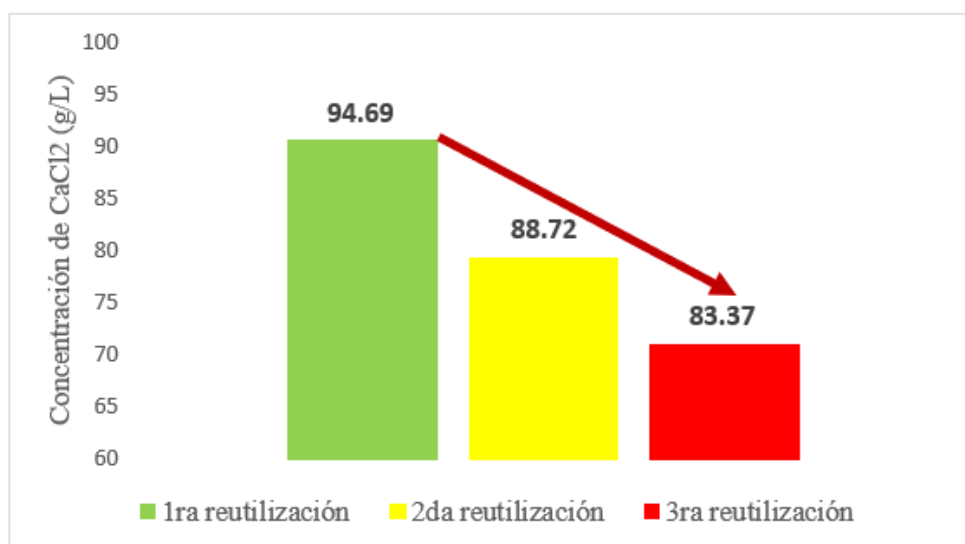
Cloruro de Calcio al 10 % encapsulado 50 ml de alginato de sodio al 2.0% a 30 min (3ra reutilización)				
	Peso vacío (g)	Peso lleno (g)	Concentración de CaCl₂ (g/L)	Molaridad
Cápsula 1	24.09	24.92	83.37	0.751
Cápsula 2	44.96	45.79	83.33	0.750

Elaborado por: (El Autor, 2022)

Finalmente, al realizar el último experimento encapsulando 50 ml de solución de alginato de sodio al 2.0% de concentración en una solución de cloruro de calcio reutilizada por tercera vez, se presentan los datos detallados en la Tabla 17 mismos que indican que existe una pérdida de 5.35 g/L y 5.32 g/L en las cápsulas 1 y 2 respectivamente. Posterior a realizar los distintos experimentos se obtiene como resultado que sí existe una pérdida promedio de alrededor de 5.63 g/L en cada reutilización al momento de encapsular alginato de sodio como se puede visualizar en la Figura 17. Existen pocos informes en la literatura acerca de la reutilización del cloruro de calcio.

Figura 17

Pérdida de concentración de CaCl₂ por reutilización, alginato al 2.0% encapsulado en 30 min



Elaborado por: (El Autor, 2022).

Con los datos obtenidos de esta investigación se muestra existe una pérdida promedio de 5.63 g/L, por lo tanto, se verificó que, si se puede realizar una reutilización de cloruro de calcio, sin embargo, desde el punto de vista industrial, se recomienda realizar análisis microbiológicos a la solución reutilizada para verificar si la misma no ha sido contaminada y es apta para continuar con el proceso de encapsulación siendo reutilizada.

4.3.2. Efecto de los factores con respecto a la variable textura.

Al analizar el efecto que causa la variable textura sobre el experimento se obtuvo como resultado que, a pesar de que la concentración del cloruro de calcio disminuya alrededor de 5.63 g/L al ser reutilizado, esto no influye en la rigidez o dureza de la perla debido a que la variable que más influye al momento de realizar el proceso y obtener una perla rígida apta para encapsular cualquier tipo de alimento es el tiempo de encapsulación o gelificación. Dicho esto, se demostró que, la rigidez o dureza no disminuye si se reutiliza la solución de cloruro de calcio, la perla presenta la misma rigidez que una perla encapsulada en una solución pura. En la Figura 14 se presentan y detallan los gráficos de los resultados obtenidos con respecto a la rigidez de la perla reutilizando la solución de cloruro de calcio.

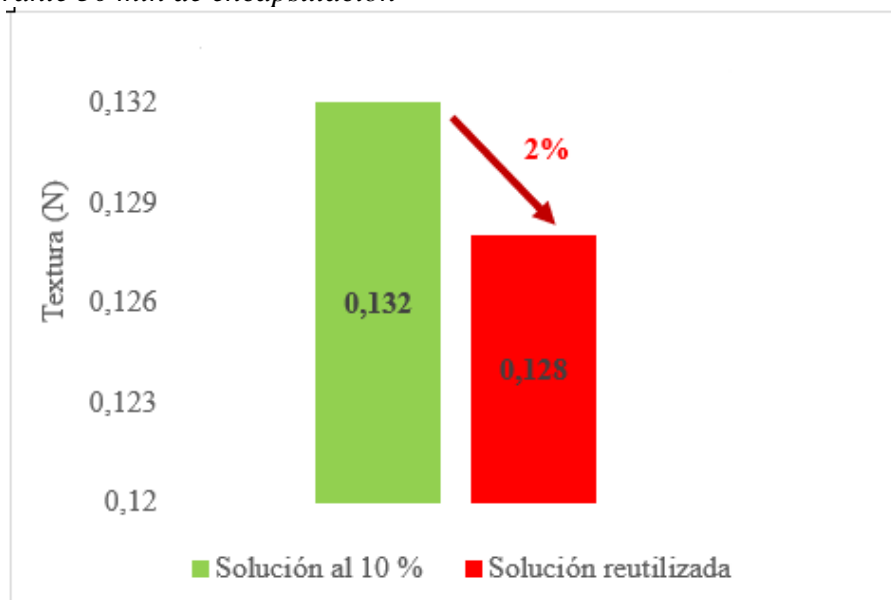
4.3.3. Variación de la textura en base al tiempo de encapsulación.

En el gráfico presentado a continuación en la Figura 18 se observa lo mencionado anteriormente que trata de que la rigidez o dureza de la perla no disminuye al reutilizar una solución de cloruro de calcio, ya que lo que influye es el tiempo de encapsulación, pues el experimento se encuentra realizado a un tiempo de 30 minutos. Se presenta una comparación de datos de textura de las perlas de alginato de sodio encapsuladas durante 30 minutos en una solución de Cloruro de

Calcio al 10% y en la solución reutilizada, al realizar la comparación (Ortega, 2019) indica que, a mayor cantidad de calcio y polisacárido en la mezcla se necesita mayor fuerza para romper las membranas de la perla de alginato, dicho esto, este experimento prueba que, en efecto, el tiempo que se deja actuar el gelificante sobre la cantidad de calcio es el que logra obtener una textura y dureza más resistente, no se necesita utilizar mayor porcentaje de concentración de alginato de sodio o de utilizar una nueva solución de cloruro de calcio, desechando innecesariamente la ya utilizada anteriormente.

Figura 18

Comparación de la variable Textura en una solución pura de CaCl_2 Vs la solución reutilizada tres veces durante 30 min de encapsulación



Elaborado por: (El Autor, 2022).

Los resultados obtenidos fueron: con respecto al valor de la encapsulación en la solución al 10% arrojó una textura de 0.132 N mientras que en la encapsulación con la solución reutilizada por tres veces dio como resultado 0.128 N. Dados estos resultados se realizó una comparación misma que dio una diferencia de 0.004 N de textura entre la una encapsulación y la otra, dando como pérdida el 2%. La dureza de la perla de alginato depende de factores tales como temperatura,

pH, almacenamiento, procesamiento, entre otras, sin embargo, existen parámetros de dureza que se espera en las perlas de alginato de sodio que encapsularán alimentos.

De esta manera se muestra que la variable que influye significativamente en el aumento de la dureza y rigidez de la perla es el tiempo de encapsulación y no necesariamente el porcentaje de concentración de alginato de sodio o de cloruro de calcio puro, dicho esto podemos indicar que, alcanzamos a utilizar menor cantidad de alginato de sodio y optimizamos el proceso de encapsulación reutilizando la solución de cloruro de calcio para elaborar perlas que cumplan con las características necesarias para encapsular cualquier tipo de alimento.

Un estudio que fue publicado en la revista *Food Hydrocolloids* en 2019 evaluó las propiedades físicas de las perlas de alginato de sodio y concluyó que la dureza mínima que determina que las perlas sean consideradas aceptables en términos de textura varía entre 0,1 y 0,3 N (Xie et al., 2022), valores que dependen de su aplicación. De igual manera existe otro estudio publicado en la revista *Journal of Food Engineering* en 2017 y este encontró que la dureza mínima requerida varía entre 0,1 y 0,5 N, dicho esto se puede verificar que las perlas elaboradas con la solución reutilizada se encuentran dentro del rango indicado.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se logró establecer que en un rango de pH: 8 a 9.60, viscosidad 53.5 a 53.8 cP y Temperatura de 4 °C. las perlas tuvieron apropiada morfología, dureza y rigidez.
- La reutilización de la solución del CaCl_2 . no perjudica la dureza de las perlas ya que la variable que influye en esta es el tiempo de encapsulación.
- Se acepta la hipótesis alternativa ya que los residuos químicos generados en el proceso de encapsulación presentan potencialidad para ser empleados en nuevos ciclos, se encapsula tres partes de alginato de sodio en una parte de cloruro de calcio.

5.2. Recomendaciones

Finalmente se detallan las siguientes recomendaciones para la mejora de la investigación realizada:

- Experimentar el proceso de encapsulación a concentraciones menores de los presentados en esta investigación con respecto a % m/v, pero con mayor tiempo de encapsulación para determinar si se forman perlas resistentes y evaluar si es posible un ahorro adicional en el proceso.
- Realizar los respectivos análisis microbiológicos a la sustancia encapsulante CaCl_2 para determinar si es factible su reutilización sin que exista un riesgo de contaminación microbiológica durante el proceso.

Bibliografía

- Araneda, C., & Valenzuela, F. (2009). Microencapsulación de extractantes: una metodología alternativa de extracción de metales. *Revista Ciencia Ahora*, 22(11), 9-19.
- Astray, G., Mejuto, J., Rial, R., González, C., & Simal, J. (2009). A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1631-1640.
- Avendaño, G., Lopez Malo, A., & Palou, E. (2013). *Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos*. México: Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos.
- Ayala, T. Y. (28 de septiembre de 2020). *SciELO*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v48n1/2223-4861-caz-48-01-117.pdf>
- Cisneros, R. (2010). *Apuntes de la materia de Riego y Drenaje*. Obtenido de <http://ingenieria.uaslp.mx/web2010/Estudiantes/apuntes/Apuntes%20de%20Riego%20y%20Drenaje%20v.2.pdf>.
- FAO. (2009). *Permeabilidad del suelo*. Obtenido de ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm
- Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M., Ordonnaud, C., Peyrat, M., & Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 75(1), 27-35.
- González, C., Lupo, B., & Maestro, A. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 130–151.
- Lopretti, M., & Olazabal, L. (2014). *MICROENCAPSULACIÓN DE MICROORGANISMOS KLUYVEROMYCES MARXIANUS EN DI FERENTES SISTEMAS Y MATERIALES. EVALUACIÓN DE SU ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS*. Uruguay: Revista Iberoamericana de Polímeros.
- Lupo Pasin, B. (17 de diciembre de 2014). Obtenido de <tdx.cat/handle/10803/288203?locale-attribute=es>
- Nazzaro, F., Fratianni, F., Coppola, R., Sada, A., & Orlando, P. (2009). Fermentative ability of alginate-prebiotic encapsulated *Lactobacillus acidophilus* and survival under simulated gastrointestinal conditions. *Journal of Functional Foods*, 1(3), 319-323.
- Neira Carrillo, A., Yáñez Muñoz, D., Aguirre Zazzali, P., Amar Marini, Y., Vidal Vilches, S., & Egaña Palma, R. (2013). *Encapsulación de Biomoléculas Usando Polímeros Naturales: “Un Nuevo Enfoque en la Entrega de Fármacos en Medicina”*. Chile: Universidad de Chile.

- Ortega, V. (2019). *EVALUACIÓN DE pH, TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE ALGINATO EN EL PROCESO DE GELIFICACIÓN IÓNICA COMO MÉTODO DE CONSERVACIÓN DEL ZUMO NATURAL DE FRUTAS*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Pérez, L. H., Bueno, G. G., Bizuela, H. M., Tortoló, C. K., & Gatón, P. C. (1 de abril de 2013). *ICIDCA*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223126409003.pdf>
- POCHTECA. (2010). Obtenido de <https://mexico.pochteca.net/cloruro-de-calcio/>
- Roth, C. (23 de marzo de 2021). Obtenido de <https://www.carlroth.com/medias/SDB-CN93-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNDI0NDI8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oM2EvaDk1LzkwMjE2MjMjQ0MTgzMzQucGRmfGQ3N2NkYmQyYjI5NzYyOTgyODkzMzNmNmM2MjEzZmMlOGQxNjE3Zjc5NWFiNmFhODMyNDRh>
- Yañez, J., Salazar, J., Chaires, L., Jimenez, J., & Marquez, M. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Revista Avance y Perspectiva*, 21, 313-319.
- Ayala, T. (2020). *OBTENCIÓN DE SIROPE DE FRUCTOSA A PARTIR DE TUNA BLANCA Opuntia ficus-indica POR EL MÉTODO DE INMOVILIZACIÓN ENZIMÁTICA DE INULINASA*. Universidad Técnica del Norte.
- Bonilla Valladares, P. (s. f.). *Formación y caracterización de nanosistemas terapéuticos con alginato*. www.tdx.cat
- Carlos, A., Landaverde, T., & Zamorano, H. (2009). *Evaluación de uso de dos concentraciones de cloruro de calcio y dos tipos de empaque en la maduración de carne de res*.
- Cortez Ávila, M. G., Ardilas Arias, A. N., Salgado Román, J. M., Hernández Soto, R., & Hernández Maldonado, J. A. (2016). Enzymatic activity of xylanase immobilized in sodium sodium alginate beads in citral hydrogenation using liquid medium. *Acta Universitaria*, 26(1), 48-55. <https://doi.org/10.15174/au.2016.852>
- De, P., En, D., de Procesos, I., Ambiental, Y., de Oviedo, U., Monodispersas, E., Parámetros, Y, Paso, D. E., & Escala, D. E. (s. f.). *DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE*.
- Hurtado, A., Selgas, R., & Serrano Aroca, Á. (2020). El alginato y sus inmensas aplicaciones industriales. *SciELO*, 1-1.
- Loyola Gomez, C., Rivas Maldonado, J., & Gacitúa Rojas, M. J. (2014). Permeabilidad del suelo suelo de la cuenca del río Chillán, entre Estero Peladillas y río Ñuble, Chile. *SciELO*, 6-6.
- Ortega, V. (2019). *EVALUACIÓN DE pH, TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE*

ALGINATO EN EL PROCESO DE GELIFICACIÓN IÓNICA COMO MÉTODO DE CONSERVACIÓN DEL ZUMO NATURAL DE FRUTAS. Universidad Técnica del Norte.

Programa de Estudios de Posgrado. (s. f.).

Ayala, T. (2020). *OBTENCIÓN DE SIROPE DE FRUCTOSA A PARTIR DE TUNA BLANCA*

Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., Dubourdieu, D., Edición, S., Belén Báez, A., Bravo, N., Salinas, D., Urzúa, S., Profesores, T. V., Ávila, D., & Jorge Fernández, F. (2014). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO INSTITUTO DE LITERATURA Y CIENCIAS DEL LENGUAJE CARRERA DE TRADUCCIÓN INGLÉS-ESPAÑOL CAPÍTULO 11: CLARIFICACIÓN DEL VINO MEDIANTE LA FILTRACIÓN Y CENTRIFUGACIÓN Traducción de Chapter 11: Clarifying Wine by Filtration and Centrifugation, en HANDBOOK OF ENOLOGY Volume 2: The Chemistry of Wine Stabilization and Treatments.*

Villarreal, V., López-Ortega, A., Márquez, A., & Márquez, Y. (2019). Effect of pre-partum supplementation with calcium chloride on the serum concentration of minerals and productive aspects in Carora cows. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru*, 30(1), 201-213. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i1.15675>

Xie, Y., Gao, P., He, F., & Zhang, C. (2022). Application of Alginate-Based Hydrogels in Hemostasis. En *Gels* (Vol. 8, Número 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/gels8020109>

Anexos

Anexo 1

Ficha Técnica del Alginato de Sodio

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Alginato de sodio, para la bioquímica

número de artículo: **9180**
Versión: **1.0 es**

fecha de emisión: 05.06.2019

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Identificación de la sustancia	Alginato de sodio
Número de artículo	9180
Número de registro (REACH)	Según reglamento (CE) n° 1907/2006 [REACH], no es obligatorio de registrar la sustancia
Número CE	618-415-6
Número CAS	9005-38-3

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados:	producto químico de laboratorio uso analítico y de laboratorio
----------------------------	---

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Alemania

Teléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0
Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149
e-mail: sicherheit@carlroth.de
Sitio web: www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad : Department Health, Safety and Environment

e-mail (persona competente) : sicherheit@carlroth.de

1.4 Teléfono de emergencia

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses	Jose Echegaray nº 4 Las Rozas	28232 Madrid	+34 91 562 0420	

1.5 Importador

Teléfono:
Fax:
Sitio web:

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Alginato de sodio , para la bioquímica

número de artículo: 9180

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Esta sustancia no reúne los criterios para ser clasificada conforme al Reglamento no 1272/2008/CE.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

no es necesario

Palabra de advertencia no es necesario

2.3 Otros peligros

No hay información adicional.

SECCIÓN 3: Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Nombre de la sustancia	Alginato de sodio
Número CE	618-415-6
Número CAS	9005-38-3

SECCIÓN 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios



Notas generales

Quitar las prendas contaminadas.

En caso de inhalación

Proporcionar aire fresco. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel

Aclararse la piel con agua/ducharse. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

En caso de contacto con los ojos

Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Si aparece malestar o en caso de duda consultar a un médico.

En caso de ingestión

Enjuagarse la boca. Llamar a un médico si la persona se encuentra mal.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

A la fecha no se conocen síntomas y efectos

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

ninguno

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Alginato de sodio, para la bioquímica

número de artículo: 9180

SECCIÓN 5: Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción



Medios de extinción apropiados

Coordinar las medidas de extinción con los alrededores: agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono (CO₂)

Medios de extinción no apropiados

chorro de agua

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Combustible.

Productos de combustión peligrosos

Puede producir humos tóxicos de monóxido de carbono en caso de incendio.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales. Llevar un aparato de respiración autónomo.

SECCIÓN 6: Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia



Para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia

No respirar el polvo.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Consejos sobre la manera de contener un vertido

Cierre de desagües.

Indicaciones adecuadas sobre la manera de limpiar un vertido

Recoger mecánicamente.

Otras indicaciones relativas a los vertidos y las fugas

Colocar en recipientes apropiados para su eliminación.

6.4 Referencia a otras secciones

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5. Equipo de protección personal: véase sección 8. Materiales incompatibles: véase sección 10. Consideraciones relativas a la eliminación: véase sección 13.

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Alginato de sodio , para la bioquímica

número de artículo: 9180

Protección respiratoria es necesaria para: Formación de polvo. Filtro de partículas (EN 143). P1 (filtra al menos 80 % de las partículas atmosféricas, código de color: blanco).

Controles de exposición medioambiental

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto

Estado físico	sólido (polvo)
Color	blanco - beige claro
Olor	inodoro
Umbral olfativo	No existen datos disponibles

Otros parámetros físicos y químicos

pH (valor)	5,5 - 8 (agua: 10 ⁹ g/l, 20 °C)
Punto de fusión/punto de congelación	>300 °C
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	Esta información no está disponible.
Punto de inflamación	no es aplicable
Tasa de evaporación	no existen datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	Estas informaciones no están disponibles
<u>Límites de explosividad</u>	
• límite inferior de explosividad (LIE)	esta información no está disponible
• límite superior de explosividad (LSE)	esta información no está disponible
Límites de explosividad de nubes de polvo	estas informaciones no están disponibles
Presión de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad	Esta información no está disponible.
Densidad de vapor	Esta información no está disponible.
Densidad relativa	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
<u>Solubilidad(es)</u>	
Hidrosolubilidad	parcialmente soluble
<u>Coefficiente de reparto</u>	
n-octanol/agua (log KOW)	Esta información no está disponible.
Temperatura de auto-inflamación	Las informaciones sobre esta propiedad no están disponibles.
Temperatura de descomposición	no existen datos disponibles
Viscosidad	no relevantes (materia sólida)
Propiedades explosivas	No se clasificará como explosiva

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Alginato de sodio , para la bioquímica

número de artículo: 9180

Propiedades comburentes ninguno

9.2 Otros datos

No hay información adicional.

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

El producto en la forma de entrega no es capaz de producir una explosión de polvo; pero la acumulación de polvo fino conduce a un peligro de explosión de polvo.

10.2 Estabilidad química

Sólido higroscópico.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Reacciones fuertes con: Muy comburente

10.4 Condiciones que deben evitarse

No se conocen condiciones particulares que deban evitarse.

10.5 Materiales incompatibles

No hay información adicional.

10.6 Productos de descomposición peligrosos

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad aguda

No se clasificará como toxicidad aguda.

Vía de exposición	Parámetro	Valor	Especie	Fuente
oral	LD50	>5.000 mg/kg	rata	TOXNET

Corrosión o irritación cutánea

No se clasificará como corrosivo/irritante para la piel.

Lesiones oculares graves o irritación ocular

No se clasificará como causante de lesiones oculares graves o como irritante ocular.

Sensibilización respiratoria o cutánea

No se clasificará como sensibilizante respiratoria o sensibilizante cutánea.

Resumen de la evaluación de las propiedades CMR

No se clasificará como mutágeno en células germinales, carcinógeno ni tóxico para la reproducción

• Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición única).

• Toxicidad específica en determinados órganos - exposición repetida

No se clasifica como tóxico específico en determinados órganos (exposición repetida).

Peligro por aspiración

No se clasifica como peligroso en caso de aspiración.

Anexo 2
Ficha Técnica del Cloruro de Calcio



COLORURO DE CALCIO
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
Revisión: Abril de 2016 – Versión: 5

SECCIÓN 1 - IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

1.1 Identificador del producto

Nombre del producto: CLORURO DE CALCIO
CAS: 10043-52-4
Sinónimos: Cloruro de calcio, cloruro de calcio anhidro.

1.2 Usos del Producto

Recomendaciones de Uso: Según instrucciones del proveedor o del fabricante.

1.3 Datos del proveedor de la Ficha de Datos de Seguridad

GTM México	Boulevard Benito Juárez #75 Col. San Mateo Cuauhtepc, Tultitlán, Estado de México CP 54948.
Transmerquim de Guatemala S. A.	Km 26.4 carretera al Pacífico, Amatitlán, Guatemala
GTM El Salvador S. A.	KM 7 ½, Antigua Carretera Panamericana, Soyapango San Salvador
Grupo Transmerquim S. A. de C.V. (Honduras)	Bo. La Guardia, 33 calle, 2da Ave. Frente al IHCAFE, SO. San Pedro Sula, Honduras.
Transmerquim de Nicaragua S. A.	Cuesta del plomo, 800mts, Managua
GTM Costa Rica	Del servicentro Cristo Rey en Ochomogo de Cartago, 800 mts hacia el este. Costa Rica
GTM Panamá	Los Andes No.1, San Miguelito. Panamá, Panamá.
GTM Colombia S. A.	Carrera 46 No 91-7 Bogotá, Colombia.
Transmerquim del Perú S. A.	Av. Rep. de Panama 3535 Oficina 502 San Isidro. Perú
GTM Ecuador	Av. De los Shyris N32-218 y Eloy Alfaro, Ed. Parque Central, Of. 1207
GTM Argentina	Encarnación Ezcurra 365 – Piso 4 – Oficina C Puerto Madero, C.A.B.A – C1107CLA – Argentina
GTM do Brasil	Praia de Botafogo nº 228 / sala 610, Ala B, Botafogo. CEP 22250-040 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

1.4 Teléfono de emergencias

México :	+52 55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00
Guatemala:	+502 6628 5858
El Salvador:	+503 2251 7700
Honduras:	+504 2564 5454
Nicaragua:	+505 2269 0361 – Toxicología MINSa: +505 22897395
Costa Rica:	+506 2537 0010 – Emergencias 911. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028
Panamá:	+507 512 6182 – Emergencias 911
Colombia:	+018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)
Perú:	+511 614 65 00
Ecuador:	+593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1
Argentina	+54 11 4611 2007
Brasil:	+55 21 3591 1868

SECCIÓN 2 – IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

CLASIFICACIÓN según el Sistema Globalmente Armonizado

Iritación ocular (Categoría 2)

Anexo 4

Medición de la textura de la perla de alginato con el texturómetro Shimadzu EZ-SX de carga max 50 N.



Elaborado por: (El Autor, 2022)

Anexo 3

Residuo sólido de cloruro de calcio para el cálculo de pérdida de concentración en el proceso



Elaborado por: (El Autor, 2022)

Anexo 6

Caracterización de la mezcla de alginato de sodio.



Elaborado por: (El Autor, 2022)

Anexo 5

Formación de perlas de alginato de sodio y cloruro de calcio.



Elaborado por: (El Autor, 2022)