



**EVALUACIÓN DE LÍQUIDOS DE COBERTURA SOBRE LA ESTABILIDAD Y LOS
COSTOS DE MATERIA PRIMA EN ENCAPSULACIONES DE JUGO DE MANGO
EN HIDROGELES DE ALGINATO**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE ALIMENTOS

PRESENTADO POR

JUAN CAMILO HERRERA ORTIZ

JOFFER STEVEN PINEDA MADRIGAL

DIRECTOR

CLAUDIA ISABEL OCHOA MARTÍNEZ, Ph.D.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SANTIAGO DE CALI
2025**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la humanidad, aquellos benditos con el conocimiento, quienes con cada avance por pequeño que sea, han marcado el camino hacia un porvenir más justo y consciente.

A los soñadores, a los creadores, a los incansables buscadores de la verdad quienes tanto admiro, que con sus manos y mentes construyen el puente entre el presente y el futuro.

Dedico este trabajo a mi madre, quien siempre soñó por mi bienestar, pues quiero que sepa que este logro no es mío, es nuestro. Entrego este trabajo a ustedes con la esperanza de que mis esfuerzos inspiren a otros a cumplir sus sueños, al florecimiento de nuevas ideas y logros.

Que este "granito de arena" encuentre su lugar en la vasta playa del progreso humano.

Juan C. Herrera Ortiz

Este trabajo de grado va principalmente dedicado a mi madre Luz Dary Madrigal, por permitirme cumplir este sueño por medio de su sacrificio y dedicación, porque gracias a su apoyo me permitió llegar aquí.

A mis familiares y amigos por ser la luz que iluminó este camino y no permitirme desfallecer en los momentos más oscuros.

Joffer S. Pineda Madrigal

AGRADECIMIENTOS

Como compañeros de una misma cuna, que nos acogió, nos vio crecer y nos preparó para afrontar la vida, solo nos queda expresar nuestra más profunda gratitud a la Universidad del Valle y a la Escuela de Ingeniería de Alimentos, a su gente, a todos aquellos quienes diariamente con su aporte contribuyen a que tengamos un ambiente educativo mejor, gracias por recordarnos que la grandeza nace de pequeños comienzos y que cada acto suma, que si algo importa entonces todo importa. Agradecemos a nuestros maestros por ser un libro abierto y compartirnos sus conocimientos y sus experiencias, que con tanto esfuerzo han adquirido y no dudan un segundo en invertirlas para forjar las habilidades de los nuevos profesionales, que sepan que su guía ha hecho posible la realización de este proyecto de investigación. Estamos seguros de que este no es más que uno de tantos peldaños en la escalera de la vida, pero que, tras superarlo, estaremos más preparados como profesionales y ciudadanos para afrontar las dificultades que nos depara el futuro.

Agradecemos enormemente a los amigos y compañeros que hicimos durante este largo camino, los cuales contribuyeron a que la estancia por el alma mater se sintiera como un viaje en familia, gracias por su incondicional apoyo y compañía en cada espacio, en cada actividad compartida, en cada risa, no nos cabe duda de que sin ustedes nada de esto sería posible.

Joffer S. Pineda Madrigal y Juan C. Herrera Ortiz.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Esferificación molecular	7
2.1.1. Alginato de sodio	8
2.1.2. Lactato de calcio	9
2.1.3. Goma xantana	9
2.2. Sacarosa	9
2.3. Generalidades del mango	10
2.4. Ósmosis	10
2.5. Métodos de encapsulación	11
2.5.1. Encapsulación directa	11
2.5.2. Encapsulación inversa	11
2.6. Factores que afectan la transferencia de agua a través de la membrana de alginato	12
2.7. Tratamiento térmico	13
2.7.1. Pasteurización	13
2.7.2. Choque térmico	14
3. ANTECEDENTES	15
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	21
5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	22
6. JUSTIFICACIÓN	22
7. HIPÓTESIS	23
8. OBJETIVOS	23
8.1. General	23
8.2. Específicos	23
9. MATERIALES Y MÉTODOS	23
9.1 Preparación de jugo de mango	23
9.2 Solución de alginato	23
9.3 Encapsulaciones	24
9.4 Líquidos de cobertura	24

9.4.1. Líquido de cobertura de jugo	24
9.4.2. Líquido de cobertura isotónico	24
9.4.3. Líquido de cobertura hipotónico	24
9.5 Envasado.....	25
9.6 Pasteurización	25
9.7 Choque térmico	26
9.8 Diseño experimental	26
9.9 Medición de concentración de azúcares.	27
9.10 Medición de pH	27
9.11 Determinación del peso.	27
9.12 Determinación del volumen.....	28
9.13 Medición del diámetro de la esfera y espesor de la membrana	28
9.14 Determinación del coeficiente de difusión	28
9.15 Determinación de los costos	28
9.16 Análisis estadístico	29
10. RESULTADOS	29
10.1 Contenido de sólidos solubles (°Brix) y pH	29
10.2. Pérdida de peso	31
10.3 Volumen.	33
10.4 Coeficiente de difusión	35
10.5 Costos de materia prima	38
11. CONCLUSIONES	39
12. REFERENCIAS	41
13. ANEXOS	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes	15
Tabla 2. Diseño experimental completamente aleatorizado. Elaboración propia	27
Tabla 3. Análisis post-ANOVA. Método Tukey en el día 14 sobre el peso de los encapsulados inmersos en cada líquido de cobertura	33
Tabla 4. Análisis post-ANOVA. Método Tukey en el día 14 sobre el volumen de los encapsulados inmersos en cada líquido de cobertura.	35
Tabla 5. Coeficientes de difusión de encapsulaciones de mango almacenadas en diferentes líquidos de cobertura (valores $\times 10^{-12}$).	36
Tabla 6. Análisis post-ANOVA. Método Tukey en el día 14 sobre el coeficiente de difusión en encapsulados inmersos en cada líquido de cobertura.	36
Tabla 7. Costo de materia prima de encapsulaciones con líquido de cobertura de jugo de mango en presentación de 300 mL. Elaboración propia	38
Tabla 8. Costo de materia prima de encapsulaciones con líquido de cobertura isotónico en presentación de 300 mL. Elaboración propia	39
Tabla 9. Costo de materia prima de encapsulaciones con líquido de cobertura hipotónico en presentación de 300 mL. Elaboración propia.....	39
Tabla 10. Contenido de sólidos solubles y pH.....	46
Tabla 11. Cambio en la masa, volumen y densidad a través del tiempo para réplicas 1, 2 y 3.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esferificaciones moleculares tipo topping. Fuente: Blog, la cocina del sultán.....	8
Figura 2. Formación de la película de hidrogel en encapsulación directa. Elaboración propia	11
Figura 3. Formación de la película de hidrogel en encapsulación inversa. Elaboración propia ...	12
Figura 4. Montaje calentamiento de baño maría. Elaboración propia.....	25
Figura 5. Montaje pasteurización. Elaboración propia.....	26
Figura 6. Montaje choque térmico. Elaboración propia.....	26
Figura 7. Encapsulaciones moleculares de jugo de mango. Elaboración propia.....	29
Figura 8. Efecto del tiempo en el contenido de sólidos solubles de las encapsulaciones. Elaboración propia	30
Figura 9. Ilustración del proceso de cromatografía por exclusión de tamaño (Pinto, 2021).....	31
Figura 10. Efecto del tipo de líquido de cobertura sobre el peso de las encapsulaciones. Elaboración propia	32
Figura 11. Efecto del líquido de cobertura sobre el cambio de volumen del jugo encapsulado ...	34
Figura 12. Coeficientes de difusión de encapsulaciones almacenadas en diferentes líquidos cobertura.....	37
Figura 13. Presentación comercial jugo encapsulado. Elaboración propia	38

RESUMEN

La encapsulación molecular mediante gelificación iónica (encapsulación inversa) con alginato de sodio emergió como una alternativa innovadora para la conservación y presentación de jugos, particularmente en productos tipo “topping”. Este estudio evaluó el impacto de tres líquidos de cobertura jugo de mango, solución isotónica y solución hipotónica sobre la estabilidad y los costos de materia prima en encapsulados de jugo de mango (*Mangifera indica* L. *Hilacha*). Las esferas fueron elaboradas mediante encapsulación inversa en solución de alginato de sodio al 0,5 % (p/p), con un tiempo de gelificación de 2 minutos, posteriormente se sometieron a tratamientos térmicos de pasteurización (80 °C por 15 s) y choque térmico (3,5 °C) para ser almacenados durante 14 días. Se evaluaron parámetros como contenido de sólidos solubles, pH, pérdida de masa, variación de volumen, coeficiente de difusión y costos de materia prima.

Se determinó que los encapsulados almacenados en líquido de cobertura isotónica e hipotónica presentaron menor pérdida de masa y volumen, así como un coeficiente de difusión menor en comparación con los conservados en jugo ($p < 0,05$). El líquido hipotónico, con una concentración de sólidos solubles un 10% inferior al medio interno, presentó un menor costo de materia prima, reduciendo hasta en un 20% los costos en comparación con el uso de jugo como líquido de cobertura.

Palabras clave: *Encapsulación inversa, pasteurización, coeficiente de difusión, estabilidad física, alginato de sodio.*

1. INTRODUCCIÓN

Los jugos tienen preferencia como acompañantes de alimentos o como ingredientes de otras preparaciones debido a la facilidad en su elaboración y a las múltiples opciones de frutas a elegir. Una de las frutas más populares para la preparación de jugos es el mango, cuya producción anual en Colombia se estimó en 350.000 Ton para el año 2022, destinándose 20 Ton de la variedad Keitt cosechadas en el Valle del Cauca para exportación al mercado estadounidense. El resto de la producción nacional está distribuida en 35.000 hectáreas distribuidas en 22 departamentos, cuya lista es encabezada por Cundinamarca, Antioquia y Norte de Santander (ICA, 2022). En el año 2023 se exportaron 13 Ton de mango de azúcar por vía marítima provenientes del departamento de Magdalena y por vía aérea fueron de 211,8. La exportación en el primer trimestre del año 2024 fue de 105,8 Ton (ICA,2024)

La encapsulación es una técnica con alto potencial en la industria de alimentos que permite conservar productos sensibles a factores externos manteniendo su calidad y funcionalidad. La encapsulación con geles como el alginato de sodio es competitiva industrialmente ya que permite ofrecer al consumidor un producto con mejores cualidades sensoriales y funcionales (Sandoval et al., 2003). De esta premisa surgieron las burbujas de centro líquido tipo “topping” como uno de los productos favoritos de sectores como la coctelería y la heladería, gracias a su llamativa presentación y variedad, al poder contar con centros líquidos de múltiples sabores que se adaptan de manera versátil a cualquier preparación, ofreciendo una oportunidad para crear experiencias sensoriales y gastronómicas innovadoras y personalizadas (Avendaño et al., 2013).

Estas esferas son susceptibles a la transferencia de masa a través de su película externa, por lo que se requiere el control de la permeabilidad y la porosidad de las membranas (López et al., 2014). Algunos agentes sellantes hidrocóloides como la k-carragenina y la goma guar han sido explorados por sus propiedades de endurecer la membrana de la esfera y disminuir su porosidad (Yu et al., 2019). Sin embargo, la adición de estas gomas supone un incremento en los costos de fabricación y disminuye la rentabilidad disminuyendo la calidad del producto. Por lo tanto, buscar alternativas para controlar la transferencia de agua a través de la película de hidrogel es fundamental para garantizar la calidad y vida útil de este tipo de alimentos encapsulados.

Como alternativa al uso de aditivos en la membrana se tienen los líquidos de cobertura. En este sector, los principales productores nacionales emplean parte del líquido encapsulado para sumergir las esferas y reducir el efecto de la transferencia de masa, pero esto supone una baja optimización de la materia prima. Por otra parte, se tienen las soluciones isotónicas, que demuestran ser eficaces en alimentos en conserva para mantener la estabilidad de los productos, como ejemplos se tienen los melocotones en almíbar y los pepinillos encurtidos, envasados en líquidos de cobertura sin hacer tratamientos en el fruto (Merchán Baque, 2022).

Por la susceptibilidad a la migración de agua de las esferas, en este trabajo se evaluó el comportamiento de la transferencia de masa del encapsulado empleando líquidos de cobertura azucarados y compararlos con el comportamiento del encapsulado al ser conservado en una solución de cobertura de jugo de mango. Esto presuntamente disminuirá los costos de materia prima y mantendrá la estabilidad de las encapsulaciones de mango.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Esferificación molecular

La encapsulación o esferificación molecular tipo “topping” (Figura 1), es una técnica originada en la cocina molecular, impulsada por el chef Ferran Adrià basándose en técnicas de gelificación controlada de la ciencia e ingeniería de los alimentos. Esta técnica consiste en la formación de cápsulas de geometría esférica que se almacenan inmersas en líquidos. Al reventar la capa de gel exterior (también llamada burbuja) se libera el material encapsulado produciendo una agradable sensación en boca (Aguirre De La Cerda, 2016).



Figura 1. Esferificaciones moleculares tipo topping. Fuente: Blog, la cocina del sultán.

Para proteger y retener los compuestos activos (sabores, nutrientes o aditivos) dentro de los líquidos se utiliza una matriz encapsulante, que puede ser un polímero o una mezcla de coloides poliméricos gelificados iónicamente. En este proceso de encapsulación se diluye una sal rica en calcio en el líquido a encapsular. Luego se aplica un método de formación de esferas, como el vertido o el goteo en una solución con alginato, para producir partículas encapsuladas que se mantienen esféricas por su naturaleza líquida (Ortiz et al., 2021).

2.1.1. Alginato de sodio

El alginato de sodio es un polisacárido extraído de algas marinas especialmente del género *Laminaria*. Los primeros estudios de la extracción de alginatos a partir de algas pardas fueron realizados por el químico británico E. C. Stanford en 1883 (Avendaño et al., 2013). El alginato se utiliza ampliamente en la industria de alimentos y en aplicaciones relacionadas con la encapsulación molecular.

El alginato de sodio es un polvo blanco, de tonalidad amarillenta que es soluble en agua. Es conocido por su capacidad para formar geles irreversibles e insolubles en agua que son deseados para técnicas de encapsulación (Avendaño, 2013), reacción que ocurre por la acción de iones de calcio sobre los grupos carboxilo del alginato, produciendo un entrecruzamiento de sus unidades de ácido gulurónico (Méndez, et al. 2015). Esta reacción química se conoce como gelificación iónica y como resultado se obtiene una estructura gelatinosa tridimensional.

2.1.2. Lactato de calcio

El lactato de calcio es un compuesto químico que se forma a partir de la combinación del ácido láctico (producido durante la fermentación de azúcares) y el ion de calcio, proporcionado por fuentes ricas en calcio como caracolas, cáscaras de huevo o conchas (Marcia et al., 2011). Es una sustancia soluble en agua y se utiliza en diversas aplicaciones como aditivo alimentario y en productos relacionados con la salud. Actúa como un agente de firmeza y estabilizador, ayudando a mejorar la textura y a prolongar la vida útil de ciertos alimentos. El lactato de calcio es utilizado en la encapsulación como parte de la matriz encapsulante, ayuda a formar una estructura estable y puede influir en la liberación controlada de la sustancia activa encapsulada. El uso específico y las propiedades de la matriz de encapsulación pueden variar según la aplicación y los objetivos específicos del proceso de encapsulación (Wang et al., 2023).

2.1.3. Goma xantana

La goma xantana es un polisacárido natural e hidrosoluble obtenido a partir de la fermentación de azúcares con la bacteria *Xanthomona Campestris*. Se utiliza como espesante y estabilizante en productos alimenticios como salsas, aderezos, helados, productos horneados, lácteos, bebidas envasadas y alimentos procesados (Ji et al., 2023). La goma xantana, en bebidas elaboradas con frutas y hortalizas, es utilizada para aumentar la viscosidad, controlar la vida útil y evitar la sedimentación de fibra. (Abbasi & Mohammadi, 2013; Abedi et al. 2012; Aghajanzadeh et al. 2017; Akkarachaneeyakorn & Tinrat, 2015; Nwaokoro & Akanbi, 2015).

2.2. Sacarosa

La sacarosa es una sustancia cristalina no reductora, soluble en agua, compuesta químicamente por carbono, hidrógeno y oxígeno. La sacarosa es un disacárido conformado por un enlace glucosídico $\beta(1,2)$ en una relación 1 a 1 de glucosa a la cual su carbono aldehídico se une al cetónico de la fructosa (Badui, 2016).

Como todas las sustancias semitransparentes, la sacarosa tiene la propiedad de refractar la luz de manera distinta a medios como el agua o el aire, por lo que cuando se encuentra en su estado disuelto en alimentos de matriz acuosa, la luz incide en un ángulo específico que se incrementa cuanto más azúcar disuelto haya en la solución (Pasto & Johnson, 2023). La cantidad de azúcares

disueltos que hay en la parte acuosa de un alimento se mide en grados Brix (°Bx), donde 1 °Bx corresponde a 1 g de sacarosa en 100 g de solución (Badui, 2016).

2.3. Generalidades del mango

El mango (*Mangifera indica*) es una fruta tropical originaria de la India, ampliamente cultivada en diferentes regiones del mundo, incluyendo Colombia. Según datos del ICA, Cundinamarca, Antioquia y Norte de Santander encabezaron la producción en el año 2022 con un estimado de 350000 Ton cosechadas. Algunas de las variedades más comunes en el país son Tommy, Keitt, Haden, Ataulfo (también conocido como Manila), azúcar e Hilacha (Lastre Mancera et al., 2022).

La variedad Hilacha crece en climas tropicales, generalmente se cultiva en altitudes inferiores a 1000 msnm y temperaturas entre 25 y 35°C y requiere una temporada de lluvias bien definidas seguidas de periodos de sequía (Mora et al, 2002). Colombia tiene un gran potencial de producción de mango Hilacha, debido a que se cosecha durante siete meses. La primera temporada se produce de febrero a septiembre y la segunda de diciembre a enero (Lastre Mancera et al., 2022). Esta fruta es especialmente apreciada por su sabor, pulpa jugosa y alto contenido de fibra. Su nombre proviene de la textura característica de la pulpa cuando se corta, lo que le da una apariencia hilachosa. Es una variedad muy popular por su alta concentración de azúcares que le dan un sabor dulce, ideal para preparar jugos. La composición promedio de macronutrientes del mango es agua (83,5%), proteínas (0,8 %), lípidos (0,4%) y carbohidratos (15,3%) de los cuales 1,6% es fibra y 13,7% azúcares (Colpas, 2019).

2.4. Ósmosis

La ósmosis es un proceso físico que ocurre cuando hay una diferencia en la concentración de solutos entre dos líquidos separados por una membrana semipermeable. La membrana permite el paso del solvente, generalmente agua, pero restringe o regula el paso de los solutos.

Cuando hay una solución con mayor concentración de solutos (hipertónica) y otra con menor concentración (hipotónica) separadas por una membrana semipermeable, el solvente tiende a presentar un flujo desde la solución hipotónica hacia la hipertónica buscando un equilibrio en las concentraciones (Mckee & Mckee, 2003).

2.5. Métodos de encapsulación

2.5.1. Encapsulación directa

La encapsulación directa consiste en la adición de alginato de sodio a un líquido que se desee encapsular, posteriormente se sumerge en forma de gotas en una solución agua-calcio que aporte los iones necesarios para producir la gelificación (Figura 2). Estos iones migran desde su medio hasta la solución de alginato y líquido produciendo la gelificación iónica, formando una membrana semipermeable que permite el paso del calcio hacia el interior de la esfera. Como el calcio se mezcla con la solución líquido-alginato, no hay forma de detener la gelificación y se produce un aumento del espesor de la película hacia el interior hasta formar una esfera de hidrogel sólida (Duarte & Rojas, 2022).

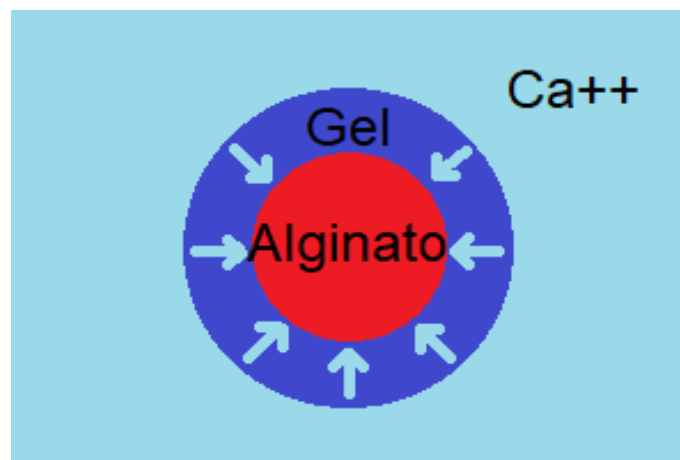


Figura 2. Formación de la película de hidrogel en encapsulación directa. *Elaboración propia.*

2.5.2. Encapsulación inversa

En la encapsulación inversa, la mezcla se realiza de manera contraria, siendo el calcio el que se mezcla con el líquido interno y se vierte en gotas a una solución agua-alginato, esto provoca que el calcio migre desde el líquido interno hacia la solución de alginato, produciéndose la membrana de hidrogel que aumenta su radio hacia el exterior a medida que salen los iones calcio y se mezclan con el alginato circundante (Figura 3). En este método de encapsulación se controla el tiempo de inmersión (que determina el grosor de la membrana), por lo que la esfera formada debe retirarse después de 1 a 3 min y retirar el exceso de alginato que queda en la superficie provocando irregularidades en su textura (Duarte & Rojas, 2022).

Es fundamental que el líquido interno tenga la suficiente viscosidad al sumergirlo en la solución agua-alginato, para no dispersarse en la superficie de la solución gelificante. Otro factor para tener en cuenta es la densidad, de no contar el líquido interno con una densidad superior a la de la solución de alginato, éste no precipitará y no se formará la esfera correctamente quedando en la superficie con una forma irregular y poco atractiva (Duarte & Rojas, 2022).

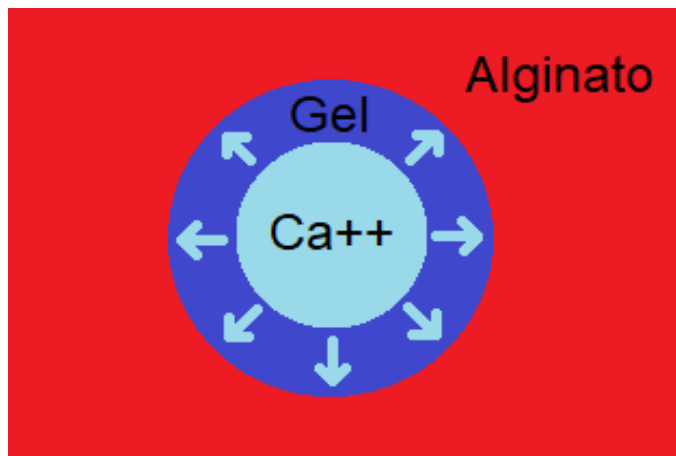


Figura 3. Formación de la película de hidrogel en encapsulación inversa. *Elaboración propia.*

2.6. Factores que afectan la transferencia de agua a través de la membrana de alginato

La ósmosis está directamente relacionada con la permeabilidad de las películas; ésta puede verse alterada por la temperatura, ya que su aumento provoca un incremento de la difusión molecular y la expansión de las cadenas poliméricas, aumentando la porosidad de la membrana y facilitando el paso de los líquidos (Alarcón Salas & Rigail Cedeño, 2009). Los agentes sellantes como el cloruro de calcio o la k-carragenina estabilizan la estructura del gel, reduciendo la permeabilidad al agua. Adicionalmente el espesor y la densidad del hidrogel son factores determinantes en la difusión de líquidos, un mayor tiempo de gelificación en las encapsulaciones provoca una membrana de mayor espesor, lo que obstaculiza la entrada y salida de agua hacia el soluto. Por último, el que es quizás el mayor condicionante para provocar la deshidratación osmótica es el medio de cobertura en el que se almacenan las esferas, ya que la deshidratación osmótica ocurre debido a la diferencia de las concentración o potencial químico, lo cual provoca un gradiente de presión osmótica que termina por hidratar o deshidratar las esferas (Ríos et al., 2005).

2.7. Tratamiento térmico

Fellows (2017) describe los tratamientos térmicos como procesos que involucran la transferencia controlada de calor, con el objetivo de destruir microorganismos y parásitos, inactivar enzimas, destruir anti nutrientes y aumentar la biodisponibilidad de algunos nutrientes. Los principales tratamientos térmicos son la pasteurización, la esterilización y el escaldado.

Los tratamientos térmicos están estrictamente relacionados con las temperaturas de letalidad, que varían en función del microorganismo que se quiera eliminar, en el caso de los alimentos, el enfoque se centra en la muerte de microorganismos patógenos por debajo de un límite establecido de unidades formadoras de colonias (UFC), el cual es considerado como seguro mientras el alimento mantenga una temperatura interna por encima de la temperatura de letalidad del patógeno objetivo (Fellows, 2017).

Aunque los tratamientos térmicos ayudan a disminuir la carga microbiana, una vez el alimento finalice el proceso, según sus condiciones de empaque no se garantiza que mantenga su inocuidad, debido a la habilidad de los microorganismos de reproducirse en escalas logarítmicas. Existen varias técnicas de conservación de impacto leve que permiten complementar los tratamientos térmicos para reducir el efecto de la temperatura sobre las características sensoriales. Una de estas técnicas es el choque térmico, seguido inmediatamente de una refrigeración o congelación (Cavicchioli, et al. 2009).

2.7.1. Pasteurización

La pasteurización es un tratamiento térmico nombrado en honor a Louis Pasteur, cuando en 1864 al calentar vino a una temperatura entre 50 y 60°C descubrió que su vida útil se veía incrementada. Posterior a este descubrimiento se implementó esta técnica en cerveza y leche siendo un gran avance para la prevención de enfermedades transmitidas por alimentos. La pasteurización es popular debido a su bajo impacto con el alimento, afectando mínimamente compuestos aromáticos volátiles y sabores, además de realzar en algunos casos el color debido a la inactivación enzimática de la *peroxidasa* y *polifenoloxidasas*, a la vez que cumple su función de reducir la carga microbiana a niveles seguros, aumentando la vida útil de los alimentos desde

algunos días en alimentos de baja acidez ($\text{pH} > 4,5$) hasta varios meses en alimentos de alta acidez como los jugos de fruta ($\text{pH} < 4,5$) (Fellows, 2017).

La pasteurización es un tratamiento versátil, al permitir diferentes combinaciones de temperatura y tiempo, siendo el principal interés garantizar una temperatura interna del alimento entre 60-65°C. Aunque el tiempo de letalidad varía con cada alimento, para el caso de jugos se emplea condiciones de proceso de 65°C por al menos 30 min. Otras combinaciones que emplean mayor temperatura permiten unos tiempos de letalidad térmica más bajos como 77°C por 1 min y 88°C por 15 s, permitiendo una adaptabilidad según el tipo de material y condiciones que se disponga (Fellows, 2017).

2.7.2. Choque térmico

Es una técnica que complementa a los tratamientos térmicos con temperaturas elevadas, permitiendo al alimento pasar repentinamente de alta temperatura a baja temperatura, exponiéndolo mínimamente a la “zona de peligro” en la cual los microorganismos patógenos más termorresistentes proliferan (5-60°C). Esto garantiza que la carga microbiana se mantenga baja al no dar tiempo a la reproducción de patógenos. Sin embargo, para el caso de la pasteurización debe complementarse con una correcta técnica de almacenamiento ya que algunos microorganismos pueden adaptarse a los cambios extremos de temperatura (Cavicchioli, et al. 2009).

3. ANTECEDENTES

En la Tabla 1 se presentan algunos antecedentes de elaboración de cápsulas de alginato.

Tabla 1. Antecedentes

Referencia	Método	Condiciones de proceso	Análisis	Resultados
(Dembczyński & Jankowski, 2000)	Medición del coeficiente de difusión de esferas en estado estacionario en un medio bien agitado.	- Solute encapsulado (glucosa, sacarosa, fructosa, lactosa y vitamina B12). - 100 encapsulaciones con un único soluto por esfera: - 100 ml de agua (medio de inmersión). - Concentración inicial de soluto: 0 - Temperatura: 30°C - Espesor del gel: $0,19 \pm 0,01$ mm. - Concentración de soluto en esfera: 0,5 y 1%	- Concentración de soluto mediante HPLC con un detector de índice de refracción para sacáridos y una columna con un detector a 360 nm para vitamina B12. - Determinación de coeficiente de difusión del medio mediante regresión no lineal de modelo matemático para coeficiente difusión para coordenadas esféricas.	- El coeficiente de difusión es directamente proporcional al peso molecular del soluto (la glucosa al tener el menor peso molecular de los solutos presentó el coeficiente de difusión mayor). La vitamina B12 al tener el mayor peso molecular, presentó el menor coeficiente de difusión.
(Bocanegra Gómez & Hernández Ampudia, 2020)	Adición de gelificantes [agar-agar (trat. A), carragenina	- Esferas de jabón encapsulado en membranas de alginato. - 80 esferas por formulación. - Esferas de 1mL y separación	- Dureza, compresibilidad, adhesividad y cohesividad de la membrana. - Microscopía óptica. - Cambio de peso.	- Se optimizó la formulación de membranas de alginato de calcio para aumentar sus propiedades impermeables. - El aumento de la concentración

	kappa (trat B) y mezcla agar-carragenina (trat. C)] en la formulación de la membrana de alginato de sodio.	de 2 cm en el proceso de gelificación. - Tiempo de gelificación: 3,5 min por esfera. Etapas del montaje en procedimiento estándar: - Se depositó el jabón mezclado calcio en un baño de alginato con una jeringa con una boquilla de 0,5 cm. - Esferas extraídas con un colador y depositadas en un baño de agua limpia: 3,5 min. - Proceso de estabilización en baño de cloruro de calcio: 3,5 min. Formulaciones para la membrana de alginato: - A: Concentraciones agar-agar 0,5; 1 y 2%. - B: Concentraciones carragenina 0,025; 0,05 y 0,1% - C: Concentraciones de agar-carragenina respectivamente (0,5-	- Espesor de la membrana.	de carragenina aumenta la permeabilidad de las membranas. - La temperatura de secado influye en la permeabilidad de las membranas, siendo más permeables las membranas secadas a menor temperatura. - El aumento en el espesor de la membrana disminuye la permeabilidad de las esferas. - Se sugiere utilizar otros componentes, como aceites, para mejorar las propiedades de las membranas. - Se sugiere trabajar con otras concentraciones de mezclas de agar-agar y carragenina. - Se recomienda realizar más mediciones de pérdida de peso a diferentes temperaturas para obtener una mejor comprensión de las propiedades de las membranas.
--	---	--	---	---

		0,025%), (1-0,05%), (2-0,1%). Determinación de la permeabilidad de las esferas mediante secado en un horno a 50°C: - Primer montaje (40 esferas): Se dispusieron 10 esferas por envase en 4 tamices al interior de recipientes que simulan el empaque, con una separación de 2 cm, se midió el cambio de peso cada 24 h por dos semanas. - Segundo montaje (40 esferas): Se situaron las esferas en una refractaria a 2 cm de distancia. Se midió el peso de las esferas cada 30 min hasta llegar al equilibrio.		
(Kashima et al., 2021)	Determinación de la permeación al agua en una	- Esferas de alginato de sodio con centro hueco. Formulación esfera: - 1 g de alginato de sodio - 0 a 0,5 g de agente	- Análisis donde los espectros se registraron a temperatura ambiente - Análisis de permeación al agua con un soporte de membrana	- La tasa de permeación del agua fue constante (pendiente lineal) en el tiempo, lo que indica que la estructura de la membrana fue estable durante la permeación

	membrana de alginato de sodio	formador de vacío los cuales se diluyeron en 100 ml de agua. - Se colocaron 10 g de solución de polímero en una placa de Petri (diámetro: 90 mm) y se secaron gradualmente en una cámara de secado a 30 ° C durante 24 h. - Se conservaron las membranas en agua pura durante 3 meses.	de acero inoxidable área de permeación efectiva: $4.53 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.	presurizada, no exhibe degradación ni consolidación de los marcos poliméricos. Además, se observó que la formación de huecos por parte de oligo etilenglicol y polietilenglicol aumenta la tasa de permeación del agua.
(Berrocal & Severiche, 2019)	Encapsulación de corozo por el método de gelación iónica y evaluación de su efecto en el desarrollo de un nuevo	- Jugo de corozo encapsulado por gelación iónica de alginato de sodio. - Relación agua-coroza 1:1. - Pasteurización del jugo a 87°C: 5 s. - 2% de alginato (p/v) del jugo de corozo. - Se dividió la solución en 4 partes a las cuales se les agregó 2, 6 y 10% (p/v) de	- pH y acidez. - Evaluación sensorial mediante una prueba hedónica de 9 puntos. - Apariencia de las cápsulas mediante registro fotográfico teniendo en cuenta cambios de forma, apariencia y grosor.	- El proceso de gelificación fue influenciado por la altura de caída del líquido gelificante en la solución gelificadora, debido a la cantidad de sólidos solubles, donde se necesitó de una velocidad de caída de 1 cm/s. - La presión osmótica afectó la retención del jugo de corozo en la esfera.

	producto (yogurt).	almidón y una solución sin almidón. - La mezcla se dosificó y agregó en una solución gobernante de cloruro de calcio 0,05M, 6 min. - Se retiraron las cápsulas y lavaron con agua destilada para detener la gelificación. - Se analizaron las esferas 1 vez por semana durante 21 días.		- Las cápsulas con mayor porcentaje de almidón presentaron mayor retención de jugo de corozo.
(Castañón et al., 2020).	Evaluación de la estabilidad de cápsulas de jugo de naranja obtenidas mediante gelificación iónica	- Se extrajo y filtró jugo de naranja con dos concentraciones de sólidos (5 y 15°Brix). - Se disolvieron diferentes concentraciones de pectina y pH en el jugo. - Para la elaboración de las esferas, se agregó 0,5% (p/v) de alginato de sodio en el jugo y se preparó una solución de lactato de calcio a 3% (p/v).	- Color determinando los atributos luminosidad (L^*), saturación (C^*), Tono (H^*). - Análisis morfológico mediante observación durante 12 días. - Densidad tomando 5 esferas. - pH.	- Se evidenció una pérdida de peso del 34% en las esferas al día 12, debido a la pared porosa de la cápsula. - La pérdida de peso ocurrió en las esferas con mayor concentración de sólidos solubles (15°Brix) durante los 3 primeros días. - El pH se mantuvo estable, en las muestras almacenadas a 4 °C, mientras que en las muestras almacenadas a temperatura ambiente disminuyó.

		- Una vez formadas las esferas, se lavaron con agua destilada y almacenaron en recipientes estériles a condiciones de temperatura ambiente (26°C) y HR 6% y a 4°C y HR 65%.		
--	--	---	--	--

En la preparación del gel, Dembczyński & Jankowski (2000), Kashima et al. (2021) y Castañón et al. (2020), sugieren emplear un porcentaje de 4% p/v de lactato de calcio y entre 0,5 y 1% p/v de alginato de sodio para la formación de la membrana con una formación por extrusión gota a gota. Por otro lado, Berrocal & Severiche (2019) emplearon 2% p/v de alginato de sodio. Los autores que emplearon menor cantidad de alginato reportaron un espesor del gel entre 0,05 mm y 0,2 mm para un tiempo de inmersión en la solución de alginato entre 2 y 3,5 min, encontrando que un gel de mayor espesor reduce considerablemente la permeabilidad del agua. Mientras que Berrocal & Severiche (2019) obtuvieron una esferificación totalmente gelificada debido al porcentaje de alginato que emplearon y concluyeron que la presión osmótica es un factor determinante en la pérdida de peso de las esferas. A pesar de que varios autores concluyen que las propiedades del gel son fundamentales para garantizar la retención de agua en las esferas, no se halló evidencia en la literatura que explorara las propiedades de los líquidos de cobertura en la estabilidad de las esferificaciones.

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Uno de los productos más famosos que se elaboran usando como materia prima el alginato de sodio son las burbujas de centro líquido tipo “topping”, teniendo aplicaciones en sectores de consumo inmediato como la coctelería y la heladería gracias a su llamativa presentación y variedad que se adaptan de manera versátil a cualquier preparación (Avendaño et al., 2013; Hurtado et al., 2020). Por consiguiente, las esferas deben mantenerse intactas durante toda su vida útil, y para esto, deben estar sumergidas en un líquido tipo almíbar.

A pesar de su versatilidad, los geles de alginato presentan un desafío para las empresas que ofrecen estos toppings, debido a su alta permeabilidad al agua, que permite la difusión de compuestos por su alta porosidad (López et al., 2014; Dembczynski & Jankowski, 2000). Se ha identificado que este producto tiende a sufrir una drástica reducción de tamaño por un fenómeno llamado deshidratación osmótica, el cual afecta la calidad de las esferas debido a la reducción de tamaño, presentando en el tiempo una apariencia deteriorada y arrugada poco atractiva para los consumidores, perdiendo todo su factor diferencial de causar una explosión en boca. Debido a esto, se ha identificado que múltiples empresas del mercado colombiano que tienen como producto principal las burbujas de centro líquido sufren por una parte problemas de calidad, o por otra, problemas en el rendimiento de producto, ya que optan por utilizar como líquido de cobertura el mismo líquido encapsulado, intentando de esta forma equilibrar la presión osmótica a costa de disminuir la optimización del producto, aumentando los costos de producción y materia prima.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Son capaces dos líquidos de inmersión (hipotónico e isotónico) elaborados con agua y sacarosa, de evitar que se deshidrate osmóticamente un encapsulado de jugo de mango en hidrogel de alginato, reduciendo a su vez los costos de materia prima en comparación con el método de inmersión tradicional?

6. JUSTIFICACIÓN

En un contexto en el que la industria alimentaria busca constantemente técnicas de conservación efectivas, así como presentaciones innovadoras, las esferificaciones moleculares de alginato se han convertido en una alternativa prometedora al contar con materias primas de fácil obtención y bajo costo, ofreciéndose un topping llamativo para productos de múltiples sabores que se ajustan a las necesidades de las industrias de repostería, heladería, coctelería y

demás (Avendaño et al., 2013).

No obstante, estas esferas son susceptibles al deterioro relacionado con el intercambio de masa a través de la membrana o “burbuja” (Castañón et al., 2020). Aunque la técnica que utilizan algunas empresas de utilizar como líquido de cobertura el mismo líquido encapsulado es eficaz en mantener el aspecto en la esfera y conservar sus características funcionales, supone un bajo aprovechamiento de materias primas al sacrificar una parte del producto que podría ser también encapsulado. Este problema de optimización puede ser resuelto al emplear un líquido que reemplace el medio de cobertura, manteniendo cercana al equilibrio la presión osmótica del encapsulado, cuidando parámetros como la concentración de sólidos solubles y conservando el aspecto y funcionalidad de las esferas de manera similar al líquido de cobertura convencional.

7. HIPÓTESIS

Los líquidos de cobertura hipotónico e isotónico de una mezcla agua y sacarosa, mantendrán la estabilidad física del encapsulado en hidrogel de alginato durante el periodo de almacenamiento de 14 días y supondrá una reducción de los costos de materia prima.

8. OBJETIVOS

8.1. General

Determinar el líquido de cobertura que proporcione mayor estabilidad y reducción de costos de materia prima para el encapsulado de jugo de mango.

8.2. Específicos

- Determinar la influencia de la concentración del líquido de cobertura, en la transferencia de masa del encapsulado de jugo de mango.
- Comparar los costos de materia prima del encapsulado, inmerso en cada líquido de cobertura estudiado.

9. MATERIALES Y MÉTODOS

9.1 Preparación de jugo de mango

Para la preparación de la bebida de mango (*mangifera indica L. cv. Hilacha*), se utilizó una pulpa con adición de ácido cítrico obtenida en supermercados locales de la ciudad de Cali, se dispuso del mismo proveedor para las tres réplicas con el fin de garantizar uniformidad. La

pulpa fue seleccionada de acuerdo con su color y fecha vencimiento, adicionalmente se realizaron análisis de calidad para validar que el contenido de sólidos solubles estuviera en el rango de $12,5 \pm 1,0$ °Brix según la Resolución 3929 de 2013 y tuviera un valor de $\text{pH} < 4$. Siguiendo el método de Duarte & Rojas (2022) para la obtención del jugo se mezclaron dos partes de agua por cada parte de pulpa. Con base en el peso de jugo se adicionaron lactato de calcio (2%), azúcar (15%), y goma xantana (0,3%) como estabilizante y espesante. Para la mezcla se empleó una licuadora Oster BLSTVB-P00-013 en su potencia máxima de 10 hp durante 20 s.

9.2 Solución de alginato

Se preparó una solución de alginato de sodio en agua a 0,5% siguiendo el método de Castañón et al. (2020). Se usaron 1.000 g de agua y 5 g de alginato de sodio, la cual se homogenizó empleando una licuadora Oster BLSTVB-P00-013 con una potencia de 10 hp durante 20 s. Una vez homogenizada la mezcla, se dejó en reposo durante 30 min para eliminar burbujas de aire incorporadas en la solución (condiciones obtenidas en las pruebas preliminares). Esta solución se empleó para encapsular las muestras para cada líquido de cobertura.

9.3 Encapsulaciones

En la solución de alginato de sodio se vertió 1 mL de jugo de mango por esfera para el proceso de encapsulado empleando una micropipeta FOUR E'S Scientific graduable 1-10 mL. Cada cápsula se mantuvo inmersa en la solución de alginato de sodio durante 2 min para la formación de la película de gel. Una vez transcurrido el tiempo de gelificación se extrajo la esfera, se retiró el exceso de alginato en un baño de agua limpia y se midió el contenido inicial de sólidos solubles (°Brix), el pH, el peso y el volumen obteniendo esferas homogéneas de $14,68 \pm 0,23$ °Brix; $\text{pH } 4,36 \pm 0,12$; $1,09 \pm 0,09$ g; y $1,01 \pm 0,02$ mL. Posteriormente se depositaron 40 encapsulados en cada uno de los líquidos de cobertura.

9.4 Líquidos de cobertura

Se prepararon 3 líquidos de cobertura (jugo, solución hipotónica y solución isotónica). Los líquidos de cobertura isotónico e hipotónico se prepararon de acuerdo con el contenido de sólidos de las esferas encapsuladas.

9.4.1. Líquido de cobertura de jugo

El jugo que se empleó como líquido de cobertura para las encapsulaciones es el mismo que fue encapsulado, se separó una parte de la producción y se depositaron las esferas en ésta.

9.4.2. Líquido de cobertura isotónico

Se preparó un líquido isotónico, buscando el equilibrio de concentración con las encapsulaciones ($14,68 \pm 0,23^\circ\text{Brix}$). Para ello se diluyó sacarosa en 100 g de agua en una licuadora Oster BLSTVB-P00-013 a 10 hp durante 15 s, verificando el contenido de sólidos ($^\circ\text{Brix}$) y adicionando sacarosa o agua hasta obtener la concentración adecuada.

9.4.3. Líquido de cobertura hipotónico

Se empleó un líquido de cobertura hipotónico con una reducción del 10% en $^\circ\text{Brix}$ respecto a las encapsulaciones ($13,2 \pm 0,23^\circ\text{Brix}$). Se diluyó sacarosa en 100 g de agua en una licuadora Oster BLSTVB-P00-013 a 10 hp durante 15 s, verificando el contenido de sólidos ($^\circ\text{Brix}$) y adicionando sacarosa o agua hasta obtener la concentración adecuada.

9.5 Envasado

Para envasar las muestras se utilizaron envases de vidrio de 300 mL con tapa metálica y fueron depositadas 40 encapsulaciones en cada uno, con el fin de garantizar completamente la cobertura de las esferas y evaluar su comportamiento en el tiempo. Se empleó una proporción de 53% encapsulaciones y 47% líquido de cobertura para un volumen total de 75 mL de contenido por envase. Por otra parte, para la determinación de los costos se escogió una presentación comercial de 300 mL, usando la misma proporción de esferas y líquido de cobertura, dando un total de 160 esferas por envase.

9.6 Pasteurización

Con el fin de eliminar la carga microbiana generada durante el proceso, se pasteurizaron las muestras a 80°C durante 15 s (Figura 5). La pasteurización se realizó empleando un baño maría con 200 mL de agua a 90°C calentada en una plancha de calentamiento CORNING PC-600 a 300°C (Figura 4). La temperatura del agua y las muestras fue medida empleando un registrador de temperatura SPER SCIENTIFIC 800024 ubicando los termopares en el centro geométrico del envase. Cuando agua de baño maría llegó a 90°C , se introdujo cada muestra. Una vez la temperatura del centro del envase llegó a 80°C , se dejaron 15 s, se retiraron y se sometieron a un choque térmico.

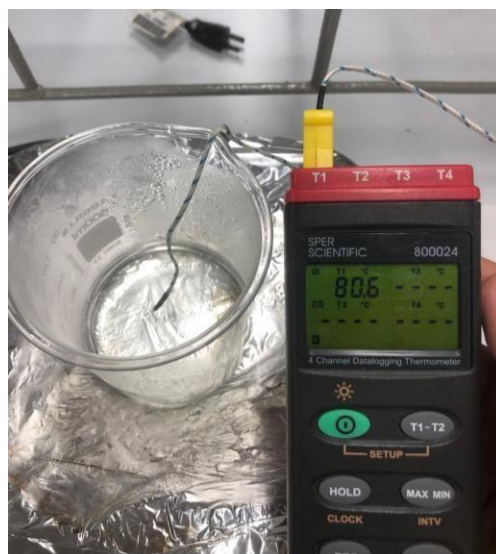


Figura 4. Montaje calentamiento de baño maría. *Elaboración propia.*

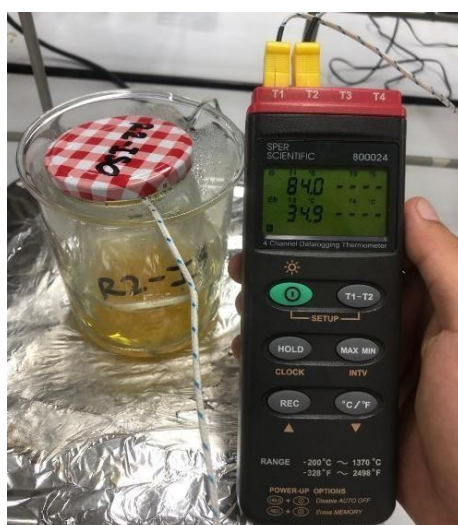


Figura 5. Montaje pasteurización. *Elaboración propia.*

9.7 Choque térmico

El choque térmico se realizó mediante un montaje experimental con agua a 3,5°C con agitación constante empleando un agitador magnético BOECO MSH 130 para garantizar la homogeneidad de la temperatura del agua hasta que la muestra alcanzó 25°C. La medición de la temperatura se realizó en el centro del recipiente que contiene las muestras empleando una termocupla SPER SCIENTIFIC 800024 (Figura 6).



Figura 6. Montaje choque térmico. *Elaboración propia.*

9.8 Diseño experimental.

Para el análisis estadístico se empleó un diseño unifactorial completamente aleatorizado donde se evaluaron los tres líquidos de cobertura con 3 réplicas (Tabla 2). Cada variable de respuesta fue analizada simultáneamente con el fin de determinar la pérdida de masa de las esferas en un lapso de 14 días para cada nivel. Con el fin de garantizar la homogeneidad de las réplicas se seleccionó como variable de control el pH del líquido interno.

Tabla 2. Diseño experimental completamente aleatorizado. *Elaboración propia.*

Factores	Niveles	Variables de respuesta
Líquido de cobertura	Líquido hipotónico	Peso de las esferas
	Líquido isotónico	Volumen de las esferas
	Líquido interno	Concentración de azúcares
		Coefficiente de difusión

9.9 Medición de concentración de azúcares.

El contenido de sólidos solubles se determinó empleando un refractómetro ATAGO RX-7000CX a 20°C. Se reventó la película de alginato para liberar el jugo contenido en su interior, el cual fue vertido en el refractómetro. Se realizaron tres pruebas para cada muestra.

9.10 Medición de pH.

La determinación del pH se realizó empleando un pH-metro HANNA HI 3220. La prueba se realizó por triplicado para cada muestra.

9.11 Determinación del peso.

Para medir la pérdida de peso de las esferas en el tiempo se empleó una balanza analítica ACULAB ALC-210.4. Se extrajeron las esferas de su líquido de cobertura y se enjuagaron en agua destilada para retirar el exceso de líquido para posteriormente ser pesadas en cajas Petri. Se realizó la medición por triplicado, empleando las mismas encapsulaciones durante el tiempo durante 14 días.

9.12 Determinación del volumen.

El volumen de las encapsulaciones se determinó depositando las unidades analizadas para cada día individualmente en una probeta graduada con 10 mL de agua y registrando el cambio en su volumen. Las mediciones se realizaron por triplicado durante 14 días.

9.13 Medición del diámetro de la esfera y área transversal de la membrana.

El diámetro de la esfera se determinó mediante un calibrador pie de rey. Para el área de la sección transversal de la membrana se reventaron las encapsulaciones y se retiraron los residuos de jugo con agua destilada. Se midió el espesor mediante un calibrador pie de rey y se calculó el área de la sección transversal con el radio interno de la esfera, restando del radio externo el espesor registrado. Se obtuvo valor del área transversal de $4,84 \times 10^{-4} \pm 1 \text{ m}^2$.

9.14 Determinación del coeficiente de difusión.

Para determinar el coeficiente de difusión de la esfera, se empleó la ley de Fick (Ecuación 1), que describe que la velocidad de difusión por unidad de área de sección transversal en una dirección determinada es proporcional al cambio de la concentración del soluto en esa dirección.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = -DA \frac{\Delta C}{\Delta X} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

D : Coeficiente de difusión del agua a través de la membrana de alginato (m^2/s).
 A : Área de la sección transversal de la membrana (m^2).
 Δm : Pérdida o ganancia de agua en la esfera (g).
 Δt : Tiempo transcurrido (s).
 ΔC : Cambio en la concentración de agua en el jugo de mango encapsulado (g/m^3).
 Δx : Espesor de la membrana (m).

9.15 Determinación de los costos

Los costos de materia prima fueron determinados con el concepto de costo por unidad producida. Se determinó el valor para producir envases de 300 mL de encapsulaciones moleculares de jugo de mango para las tres opciones de líquidos de cobertura a partir de los costos de materias primas utilizadas para cada unidad sin tener en cuenta los costos de operación de los equipos.

9.16 Análisis estadístico

Como herramienta para realizar el análisis estadístico de todas las variables de respuesta se empleó Minitab Statistical Software 22 ® y se realizó un ANOVA para un solo factor estableciendo un nivel de confianza del 95% y una significancia del 5% ($\alpha = 0,05$). Se validaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad (varianzas iguales) mediante el método de Anderson Darling y Barlett respectivamente. Se realizó un análisis post-ANOVA, con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para evaluar diferencias significativas entre las muestras.

10. RESULTADOS

Las esferas de alginato presentaron características uniformes con un diámetro de $1,2 \pm 0,1$ cm. El espesor de membrana obtenido con un tiempo de gelificación de 2 min fue $0,50 \pm 0,01$ mm (Figura 7).



Figura 7. Encapsulaciones moleculares de jugo de mango. *Elaboración propia.*

10.1 Contenido de sólidos solubles (°Brix) y pH

En la Figura 8, se observa el cambio del contenido de sólidos solubles de las encapsulaciones inmersas en cada líquido de cobertura.

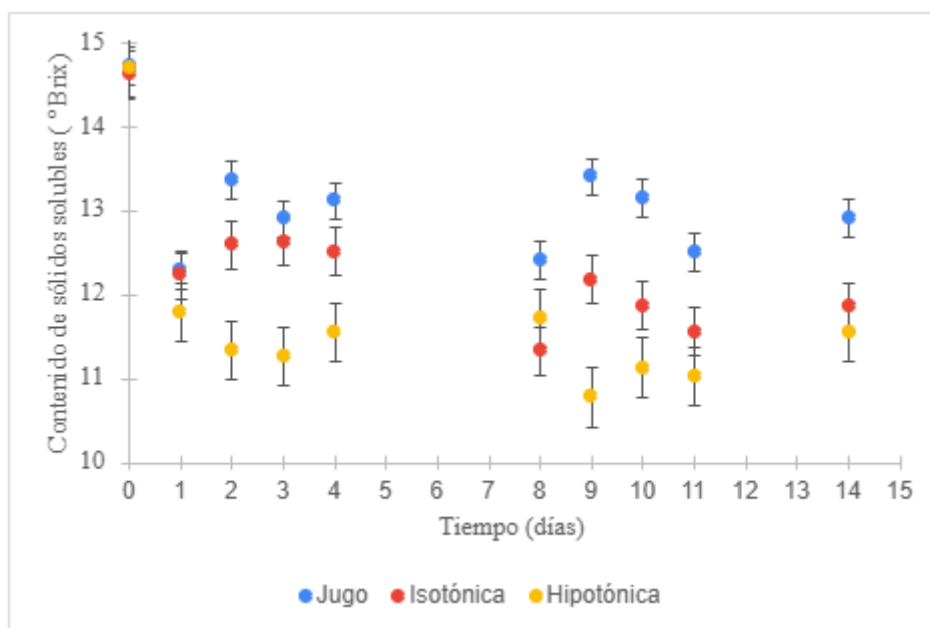


Figura 8. Efecto del tiempo en el contenido de sólidos solubles de las encapsulaciones. *Elaboración propia.*

En la Figura 8 se observa una reducción del contenido de sólidos solubles del jugo encapsulado en el primer día de almacenamiento en los tres tipos de cobertura, siendo mayor la reducción para la solución hipotónica, teniendo en cuenta que hay mayor gradiente de concentración de

sólidos entre el líquido encapsulado y el líquido de cobertura. En general, a partir del segundo día se observa un equilibrio osmótico en los tres tipos de cobertura, manteniéndose valores promedio de $12,89 \pm 0,97$ °Brix para las muestras almacenadas en jugo (variación del 12% respecto a su valor inicial), $12,08 \pm 0,75$ °Brix para las muestras almacenadas en la solución isotónica (variación del 18%) y de $11,35 \pm 0,76$ °Brix para las muestras almacenadas en la solución hipotónica (variación del 14%).

La reducción del contenido de sólidos observada inicialmente en la solución isotónica y en el jugo de cobertura puede deberse a que cuando se forma la membrana, una proporción de los azúcares del jugo encapsulado quedan retenidos en ella por un fenómeno llamado cromatografía por exclusión de tamaño molecular (SEC), el cual describe el proceso de separación que sufren las biomoléculas según su tamaño cuando una solución fluye a través de una membrana porosa (Mayolo, Martínez & Rito, 2012) (Figura 9). En este caso el líquido de cobertura actúa como una solución hipertónica respecto al líquido interno. El análisis de varianza mostró que no existen diferencias significativas entre el contenido de sólidos solubles de los encapsulados en cada líquido de cobertura ($p > 0.05$)

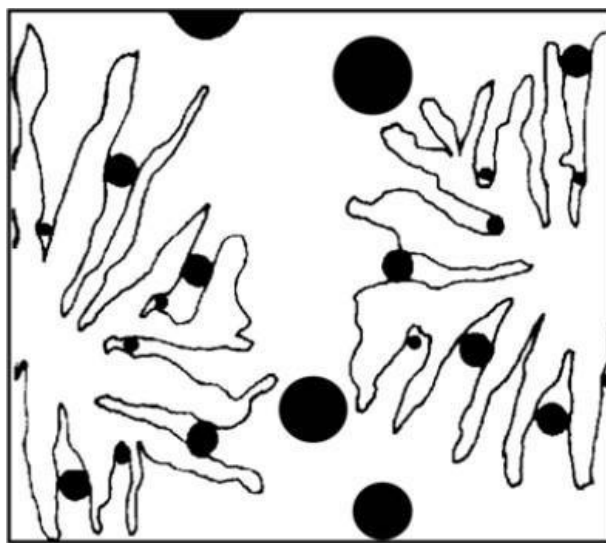


Figura 9. Ilustración del proceso de cromatografía por exclusión de tamaño (Pinto, 2021)

El pH se usó como indicador principal de fermentación del líquido encapsulado y por ende la degradación de azúcares. Granadillo et al. (2014) determinaron que la degradación de azúcares ocurre en un $\text{pH} \leq 4,0$. Los resultados registrados en la Tabla 10 (anexos), demuestran que el jugo encapsulado en todas las muestras tuvo un pH de $4,34 \pm 0,11$ lo cual indica que no se presentó crecimiento microbiano que pudiera alterar la concentración de sólidos solubles debido al consumo o transformación de azúcares a causa de la fermentación.

10.2. Pérdida de peso

En la Figura 10 se aprecian los valores de masa en función del tiempo de las encapsulaciones almacenadas durante 14 días en los tres líquidos de cobertura. El peso de las esferas disminuyó con el tiempo y la mayor tasa de transferencia de masa ocurrió en los primeros 4 días. Estos resultados son acordes con los presentados por Pinto Molina (2021) y Bocanegra Gómez & Hernández Ampudia (2020), quienes obtuvieron pérdidas de masa aceleradas hasta el día 4, a partir del cual, la pérdida continuó con un comportamiento menos destacado hasta estabilizarse a partir del día 8.

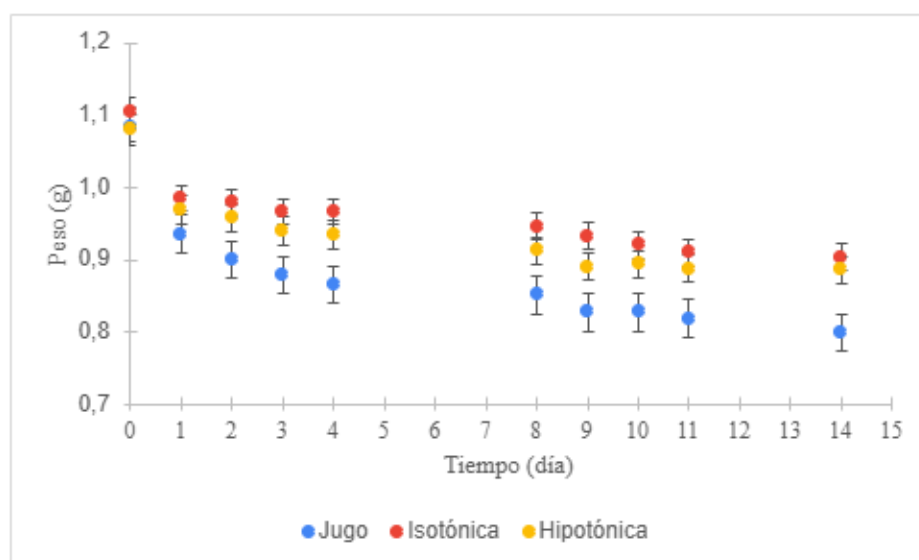


Figura 10. Efecto del tipo de líquido de cobertura sobre el peso de las encapsulaciones.

Elaboración propia.

Se evidenció mayor pérdida de peso del encapsulado al emplear jugo como líquido de cobertura. Como se discutió anteriormente, al formarse la película de gel de alginato éste tiene la propiedad de retener sólidos solubles en su estructura, causando una disminución repentina de los azúcares en el líquido interno, lo cual provoca que el jugo actúe como una solución hipertónica, derivando en una mayor diferencia de presión osmótica con respecto a los otros líquidos de cobertura. Estos resultados son acordes con el comportamiento de la concentración de sólidos solubles en el encapsulado, ya que al perder más agua su concentración de azúcares es mayor en el jugo que en los otros líquidos de cobertura.

El análisis post-Anova Tukey (Tabla 3), muestra que existen diferencias significativas entre las

tres técnicas de inmersión con un ($p < 0,05$), remarcando que los encapsulados inmersos en jugo, presentaron una media de peso significativamente menor respecto a los encapsulados inmersos en el líquido isotónico e hipotónico demostrando mayor estabilidad en cuanto a la pérdida de materia, principalmente agua en los encapsulados inmersos en el líquido isotónico e hipotónico.

Tabla 3. Análisis post-ANOVA. Método Tukey en el día 14 sobre el peso de los encapsulados inmersos en cada líquido de cobertura.

Factor	N	Media	Agrupación
Hipotónica	3	0,90	A
Isotónica	3	0,89	A
Jugo	3	0,80	B

10.3 Volumen.

La Figura 11 evidenció el cambio en el volumen de las esferas en el tiempo durante 14 días, en la cual se observó un comportamiento decreciente que está relacionado con la pérdida de masa de la esfera, siendo en ambos casos un comportamiento representativo de la migración de agua hacia el exterior de la membrana semipermeable, debido al proceso de ósmosis de agua que se mueve de una región de menor concentración, a una de mayor concentración (Mckee & Mckee, 2003). En la Tabla 10 (anexos) se presentan los valores del volumen registrados en el tiempo.

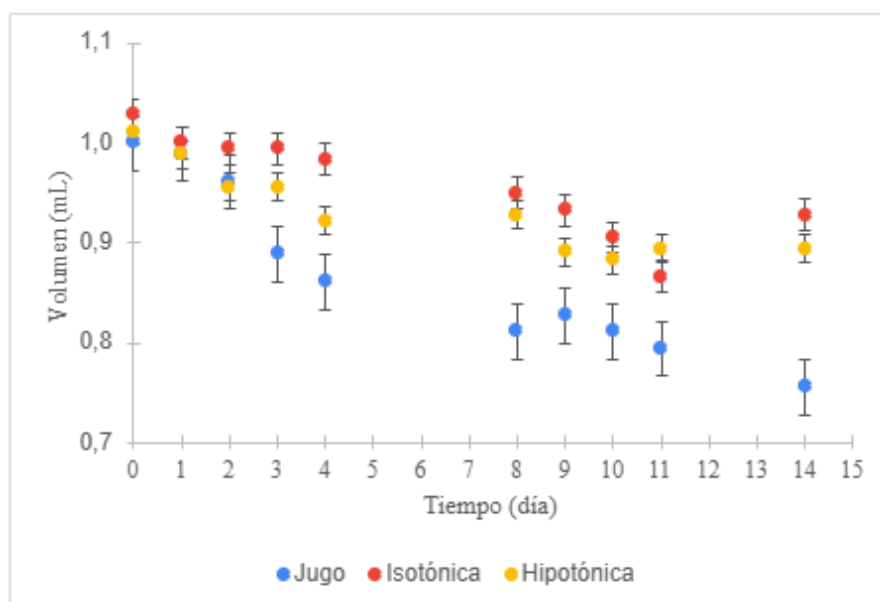


Figura 11. Efecto del líquido de cobertura sobre el cambio de volumen del jugo encapsulado. La pérdida de volumen de los encapsulados inmersos en jugo y líquido hipotónico presentan

una mayor variabilidad, dado que en ambos casos la esfera tiene una mayor concentración de azúcares que su medio de inmersión, en el caso del jugo por el fenómeno de cromatografía, por lo tanto, según los estudios de osmosis el volumen de la esfera debe aumentar, sin embargo se observa pérdida de volumen en ambos casos, disminuyendo un 24,44% el volumen de las esferas inmersas en jugo y un 11,54% en las inmersas en líquido hipotónico con respecto al día 0, presentando un comportamiento sin diferencias significativas respecto a las esferas del líquido isotónico, las cuales tuvieron una disminución del 9,73% en su volumen respecto al día 0 (una diferencia del 1,81% con las esferas del líquido hipotónico). Este comportamiento podría ser provocado por las propiedades elásticas del gel, dado que el alginato forma geles rígidos y con poca elasticidad, lo que provoca una resistencia física de la esfera al aumento de su volumen (Méndez, et al. 2015). Del mismo modo, los encapsulados inmersos en el líquido isotónico e hipotónico, pierden volumen en menor proporción que los inmersos en jugo y su comportamiento se estabiliza en menos tiempo debido a que el líquido de cobertura presenta una concentración similar al del encapsulado. Lo cual indica que una diferencia de 10% de concentración de azúcares en el líquido hipotónico respecto a las encapsulaciones, no es suficiente para evidenciar un cambio en el comportamiento en la pérdida de volumen con respecto al líquido isotónico.

El análisis de varianza ANOVA mostró un Valor-P menor al nivel de significancia del 5%, demostrando así la existencia de diferencias significativas entre el volumen de los encapsulados inmersos en los tres líquidos de cobertura. De igual forma, el análisis post-Anova Tukey (Tabla 4), refuerza las diferencias significativas presentadas entre el jugo como líquido de cobertura y los demás líquidos de cobertura (isotónico e hipotónico) en cada uno de los análisis, sin embargo, no hay diferencias significativas entre el líquido de cobertura isotónico e hipotónico donde los encapsulados inmersos en jugo, presentaron una media de peso menor respecto a los encapsulados inmersos en el líquido isotónico e hipotónico demostrando mayor estabilidad en cuanto a la pérdida de volumen en los encapsulados inmersos en el líquido isotónico e hipotónico.

Tabla 4. Análisis post-ANOVA. Método Tukey en el día 14 sobre el volumen de los encapsulados inmersos en cada líquido de cobertura.

Factor	N	Media	Agrupación
Isotónico	3	0,930	A
Hipotónico	3	0,893	A
Jugo	3	0,757	B

10.4 Coeficiente de difusión

El coeficiente de difusión indica la transferencia de moléculas de agua a través de la membrana semipermeable, por lo cual el líquido interno y de cobertura se encuentran en constante movimiento. Según Geankoplis (2006) una solución hipotónica e hipertónica tendrán un flujo neto de solvente que va desde el ambiente de menor saturación al ambiente de mayor saturación, mientras que una solución isotónica no presentará flujo neto determinado en estado estacionario, y su intercambio de masa dependerá del movimiento aleatorio de las partículas del medio. En la Tabla 5 y Figura 12 se presentan los valores de coeficiente de difusión (D) calculados a partir de la Ecuación 1 para los líquidos de cobertura en las tres réplicas.

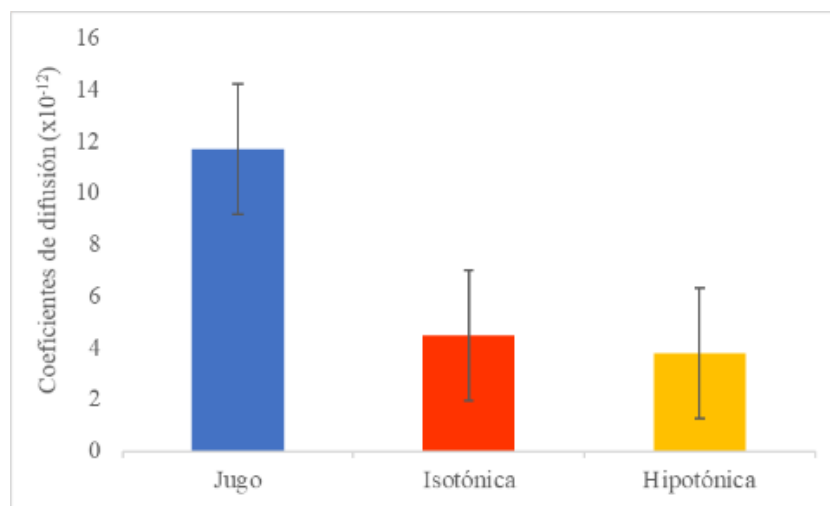


Figura 12. Coeficientes de difusión de encapsulaciones almacenadas en diferentes líquidos de cobertura

Se puede apreciar que las encapsulaciones inmersas en el jugo presentaron coeficientes de difusión superiores a los demás líquidos, mientras que no hubo diferencias significativas entre los líquidos isotónico e hipotónico de acuerdo con el análisis estadístico.

Tabla 5. Coeficientes de difusión de encapsulaciones de mango almacenadas en diferentes líquidos de cobertura (valores $\times 10^{-12}$).

D (m ² /s)		
Jugo	Isotónico	Hipotónico
11,68±3,93	4,46±1,93	3,78±0,62

El análisis de varianza mostró un Valor-P menor al nivel de significancia del 5%, por lo que se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alterna, dando como resultado, la existencia

de diferencias significativas entre el coeficiente de difusión de las encapsulaciones en los tres líquidos de cobertura.

El método Tukey permite identificar y agrupar los niveles según las similitudes y diferencias encontradas, de esta manera, la evidencia indica que el líquido de cobertura compuesto por jugo difiere respecto a los líquidos isotónico e hipotónico (Tabla 6)

Tabla 6. Análisis post-ANOVA. Método Tukey en el día 14 sobre el coeficiente de difusión en encapsulados inmersos en cada líquido de cobertura.

Factor	N	Media	Agrupación
Hipotónico	3	3,785	A
Isotónico	3	4,46	A
Jugo	3	11,68	B

De este modo, el método Tukey demuestra que el líquido de cobertura de jugo fue el menos eficiente en reducir la transferencia de agua en el encapsulado respecto a los líquidos isotónico e hipotónico al presentar diferencias significativas con estos.

Al comparar los resultados del coeficiente de difusión con los presentados por Urista, Estupiñán & Domínguez (2008), quienes reportaron un valor de $0,00089 \text{ m}^2/\text{h}$ (equivalente a $2,47 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) para el paso de agua a través de una membrana semipermeable de 0,65 mm de espesor a una temperatura de 40°C , se observa que el coeficiente de difusión de las encapsulaciones de jugo de mango fue considerablemente menor. Esto se debe a que las muestras se almacenaron a una temperatura de $2 \pm 1^\circ\text{C}$, lo que, de acuerdo con Alarcón Salas & Rigail Cedeño (2009) y Bocanegra Gómez & Hernández Ampudia (2020), reduce significativamente la permeabilidad del gel y la difusión del agua a través del alginato.

Por otra parte, los resultados expuestos por Galeano (2023) para la difusión de agua en alginato a través de membranas de 0,066, 0,074 y 0,081 mm de espesor muestran que el menor coeficiente de difusión se obtuvo para la membrana más gruesa ($3,124 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$). Este hallazgo refuerza la relación inversamente proporcional entre el espesor de la membrana y su permeabilidad (Bocanegra Gómez & Hernández Ampudia, 2020). En este contexto, considerando que la membrana de las encapsulaciones de jugo de mango estudiadas en este trabajo tiene un espesor de $0,5 \pm 0,01 \text{ mm}$ (un 517,28% mayor que la de 0,081 mm), es razonable

esperar que su coeficiente de difusión (D) sea aún menor. Por lo tanto, los valores obtenidos, que se encuentran en un orden de magnitud de $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, resultan congruentes con los trabajos previos citados.

10.5 Costos de materia prima

Se evaluaron los costos de materia prima para cada una de las muestras, eligiendo una presentación comercial de 300 mL con 160 esferas de $1 \pm 0,03 \text{ mL}$ (Figura 13) para los tres líquidos de cobertura mediante el costo de cada una de las materias primas en el mercado local, además del costo de agua por m^3 correspondiente a los líquidos de cobertura, los encapsulados y la solución agua-alginato según la tarifa de acueducto de las Empresas Municipales de Cali (EMCALI, 2024), donde el costo por m^3 corresponde a \$4010,38 en la zona industrial.



Figura 13. Presentación comercial jugo encapsulado. *Elaboración propia.*

Según las Tablas 10, 11 y 12, las encapsulaciones de jugo de mango con líquido de cobertura hipotónico tienen menor costo de materia prima, debido a que esta cobertura solo contiene agua y azúcar, además de que contiene menor cantidad de sacarosa que el líquido de cobertura isotónico.

Tabla 7. Costo de materia prima de encapsulaciones con líquido de cobertura de jugo de mango en presentación de 300 mL. *Elaboración propia.*

Materia prima	Peso (g)	Costo (\$/g)	Costo total (\$)
Pulpa de mango	98,26	12,80	1257,70
Agua	529,85	0,004	2,12
Azúcar	44,22	4,00	176,86
Lactato	5,90	169,15	997,23
Goma xantana	0,88	46,40	41,03
Alginato de sodio	1,67	169,15	170,82
TOTAL			2.645,78

Tabla 8. Costo de materia prima de encapsulaciones con líquido de cobertura isotónico en presentación de 300 mL. *Elaboración propia.*

Materia prima	Peso (g)	Costo (\$/g)	Costo total (\$)
Pulpa de mango	49,00	12,80	627,21
Agua	557,26	0,004	2,23
Azúcar	44,91	4,00	179,65
Lactato	2,94	169,15	497,32
Goma xantana	0,44	46,40	20,46
Alginato de sodio	1,67	169,15	170,82
TOTAL			1.497,69

Tabla 9. Costo de materia prima de encapsulaciones con líquido de cobertura hipotónico en presentación de 300 mL. *Elaboración propia.*

Materia prima	Peso (g)	Costo (\$/g)	Costo total (\$)
Pulpa de mango	49,00	12,80	627,21
Agua	557,26	0,004	2,23
Azúcar	42,20	4,00	168,80
Lactato	2,94	169,15	497,32
Goma xantana	0,44	46,40	20,46
Alginato de sodio	1,67	169,15	170,82
TOTAL			1.486,84

11. CONCLUSIONES

- Los líquidos de cobertura isotónico e hipotónico demostraron ser más eficaces en la conservación de la estabilidad física de las esferas de jugo de mango encapsulado, al presentar menores pérdidas de masa y volumen, lo que evidencia una menor transferencia de agua a través de la membrana de alginato y una mayor integridad estructural durante el almacenamiento de 14 días.
- El análisis del coeficiente de difusión confirmó que los encapsulados inmersos en líquidos isotónico e hipotónico exhiben menores tasas de transferencia de masa que los conservados en jugo de mango, evidenciando una menor permeabilidad de la película de hidrogel.
- El uso del líquido de cobertura hipotónico resultó ser la alternativa más rentable, reduciendo hasta un 20% los costos de materia prima frente al uso de jugo como líquido de cobertura, sin alterar la estabilidad del encapsulado. Esta reducción se debe principalmente a la menor cantidad de solutos requeridos en su formulación.
- Se evidenció experimentalmente la estabilidad de productos encapsulados mediante líquidos isotónicos e hipotónicos, ofreciendo parámetros de formulación y control de proceso que pueden ser utilizados al escalar industrialmente la producción de encapsulados de centro líquido, fortaleciendo la innovación en la ingeniería de alimentos mediante el uso eficiente de hidrocoloides naturales como el alginato de sodio.

12. REFERENCIAS

1. Abbasi, S.; Mohammadi, S. (2013). Stabilization of milkorange juice mixture using Persian gum: Efficiency and mechanism. *Food Bioscience*. 2(1):53-60. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2013.04.002>.
2. Abedi, F.; Sani, A.M.; Karazhiyan, H. (2012). Effect of some hydrocolloids blend on viscosity and sensory properties of raspberry juice milk. *J. Food Science and Technology*. 51(9):2246-2250. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0705-0>.
3. Aguirre De La Cerda, A. C. (2016). Esferificación inversa de bebida nutricional sabor fresa, desarrollada para el beneficio de la niñez intermedia y determinación de su tiempo de vida útil en condiciones adecuadas. Universidad Rafael Landívar. https://crailandivarlibrary.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay/alma990002013940107696/502URL_INST:502URL
4. Aghajanzadeh, S.; Mohammad Z.; Kashaninejad, M. (2017). Influence of thermal treatment, homogenization and xanthan gum on physicochemical properties of watermelon juice: A response Surface approach. *LWT - Food Science and Technology*. 85(1):66-74. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.007>.
5. Akkarachaneeyakorn, S.; Tinrat, S. (2015). Effects of types and amounts of stabilizers on physical and sensory characteristics of cloudy ready-to-drink mulberry fruit juice. *Food Science and Nutrition*. 3(3):213-220. <https://doi.org/10.1002/fsn3.206>.
6. Alarcón Salas, X., & Rigail Cedeño, A. (2009). Estudio de la relación entre la transferencia de vapor de agua, condiciones ambientales y shelf life, en películas multicapa de polietileno utilizadas en empaques alimenticios. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/2340>
7. Avendaño, G. C., López, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(1): 87-96.
8. Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos*. México, Pearson Educación.

9. Berrocal P.C., Severiche G.J. (2019). Encapsulación de corozo por el método de gelación iónica y evaluación de su efecto en el desarrollo de un nuevo producto (yogurt). Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/40c18095-673e-4da1-af19-6b7b5782de1a/content>.
10. Bocanegra Gómez, M. & Hernández Ampudia, M. (2020). Optimización de la formulación de membranas de alginato de calcio para aumentar sus propiedades impermeables. Universidad de los Andes.
11. Canales, N., & López Guzmán, N. A. (2021). Encapsulación de bacterias ácido-lácticas en polímeros de alginato mediante técnica de extrusión (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Tecnología Médica.).
12. Castañón, J., Soto, M., & Uresti, R. (2020). Evaluación de la estabilidad de cápsulas de jugo de naranja obtenidas mediante gelificación iónica. *CienciaUAT*, 14(2), 117-132.
13. Cavicchioli, R., Saunders, N., & Thomas, T. (2009). Cold-shock response in microorganisms. *Extremophiles*, 2, 122-143.
14. Colpas, D. (2019). Estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje de las vitaminas, tomando como modelo aquellas presentes en el mango (*Mangifera L.*). Universidad Nacional Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76001>
15. Crank, J. (1975). The mathematics of diffusion. Brunel university uxbridge.
16. Dembczynski, R., & Jankowski, T. (2000). Characterisation of small molecules diffusion in hydrogel-membrane liquid-core capsules. *Biochemical Engineering Journal*, 6(1), 41-44.
17. Duarte, R., & Rojas, M. (2022). Desmitificando la Esferificación. *Revista De Gastronomía Y Cocina*, 1(1). Recuperado de: <http://academiaculinaria.org/index.php/gastronomia-cocina/article/view/16>.

18. Fellows, P. (2017). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. Woodhead Publishing.
19. Galeano, Y. (2023). Desarrollo de una película activa basada en almidón modificado y alginato de sodio con aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) aplicada en queso crema. Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/9437>
20. Geankoplis, C. (2006). *Procesos de transporte y principios de procesos de separación*. CECSA Editorial México, 773-783.
21. Granadillo, I., Rodríguez, G. T., Motzezak, R. H., & Guillén, H. M. (2014). Efecto de la temperatura y el pH en la fermentación del mosto de Agave cocui. *Multiciencias*, 14(4):375–381.
22. Hurtado, A., Selgas Sanchis, R., & Serrano Aroca, Á. (2020). El alginato y sus inmensas aplicaciones industriales. *Nereis*, (12):137-149.
23. Instituto Colombiano Agropecuario—ICA. (2022). Con un embarque de 20 toneladas, Colombia inició la exportación de mango fresco a Estados Unidos. Consultado el 3/07/2023: <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-embarque-20toneladas-mango#:~:text=Colombia%20cuenta%20con%20cerca%20de,producci%C3%B3n%20nacional%20de%20350.000%20toneladas>.
24. Instituto Colombiano Agropecuario—ICA. (2024). Colombia exporta, por primera vez, 13 toneladas de mango de azúcar hacia Estados Unidos por vía marítima. <https://www.ica.gov.co/noticias/colombia-exporta-mango-dulce-eeuu-via-maritima>
25. Ji K, Hongxia Y, Xinxue Li, Chao H, Qin L, Liting C, Jixiang Z, Yan L, Shujun W, Qingbin Gu. (2023). Structural, rheological and functional properties of ultrasonic treated xanthan gums, *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi-org.bd.univalle.edu.co/10.1016/j.ijbiomac.2023.125650>
26. Kashima, K., & Imai, M. (2012). Impact factors to regulate mass transfer characteristics of stable alginate membranes performed superior sensitivity on various organic

chemicals. *Procedia Engineering*, 42, 964-977.

27. Kashima, K., Inage, T., Yamaguchi, Y., & Imai, M. (2021). Tailorable regulation of mass transfer channel in environmentally friendly calcium alginate membrane for dye removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), 105210.
28. Lastre Mancera, M. J., García Coquies, A. M., & Leguía Vargas, E. A. (2022). Análisis de la exportación de mango desde el departamento del Magdalena. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/45710>
29. López, A., Deladino, L., Martino, M. (2014). Corn starch-calcium alginate matrices for the simultaneous carrying of zinc and yerba mate antioxidants. *LWT – Food Science and Technology*, 59(2P1), 641–648.
30. Marcia, E., Malespín, J., Sánchez, M., & Benavente, M. (2011). Estudio de la fermentación láctica para la extracción de quitina a partir de desechos de crustáceos. *Nexo Revista Científica*, 24(1), 33–42. <https://doi.org/10.5377/nexo.v24i1.592>
31. Mayolo, K., Martínez, L., & Rito, M. (2012). Técnicas cromatográficas y su aplicación a estudios de cambios conformacionales, estabilidad y replegamiento de proteínas. *Revista mexicana de ingeniería química*, 11(3): 415-429.
32. Méndez, D., Quintero J., Váquiro, H., Solanilla, J. (2015). Alginato de sodio en el desarrollo de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2), 089-113.
33. Mckee, T., Mckee, J. (2003). La base molecular de la vida volumen 3. McGraw-Hill. https://www.academia.edu/22368181/LA_BASE_MOLECULAR_DE_LA_VIDA_Tercera_edici%C3%B3n.
34. Merchán Baque, M. I. (2022). *Revisión bibliográfica de técnicas utilizadas para la conservación de frutas y vegetales mediante procesos de osmodeshidratación y ultrasonido* (Bachelor's thesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo).
35. Ministerio de Agricultura. (2024). Colombia exporta, por primera vez, 13 toneladas de mango de azúcar hacia Estados Unidos por vía marítima.

<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-exporta,-por-primera-vez,-13-toneladas-de-mango-de-az%C3%BAcar-hacia-Estados-Unidos-por-v%C3%ADa-mar%C3%ADtima-.aspx>

36. Mora, J., Gamboa, J., Elizondo, R. (2002). Guía para el cultivo del mango. Ministerio de agricultura de Costa Rica, p5.
37. Ortiz, N., Ochoa, L., González, S., Rutiaga, O., & Gallegos, J. (2021). Avances en las investigaciones sobre la encapsulación mediante gelación iónica: una revisión sistemática. *TecnoLógicas*, 24(52):262-280.
38. Pasto, D. J., & Johnson, R. C. (2023). *Determinación de estructuras orgánicas*. Reverté.
39. Pinto Molina, I. (2021). *Estudio sobre la evolución de la membrana de hidrogel del alginato de calcio* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
40. Resolución 3929 de 2013. Ministerio de Salud y Protección Social. República de Colombia.
41. Ríos, M., Márquez, C., & Ciro, H. (2005). Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (carica papaya l.) en cuatro agentes edulcorantes. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(2): 2998–3002.
42. Sandoval, A; Rodríguez & E; Ayala, A. (2003). Encapsulación de aditivos para la industria de alimentos. *Revista Ingeniería y Competitividad*. 5(2):73-83.
43. Tonon, R.V., Brabet, C., Hubinger, M.D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88 (3): 411–418.
44. Urista, C., Rico, I., Estupiñan, J. & Domínguez, E. (2008). Estudio de la difusividad del agua en el secado de alginato de sodio en charolas. *Afinidad*, 65(536).

45. Wang, A., Qinghua, X., Hengbo, Y., Linjiu, X., Yansheng, H. (2023). Synthesis of calcium lactate starting from glycerol and calcium hydroxide catalyzed by copper-based catalysts in aqueous solution. *Materials Science and Engineering: B* 296. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2023.116678>.
46. Yu, F., Cui, T., Yang, C., Dai, X., & Ma, J. (2019). κ -Carrageenan/Sodium alginate double-network hydrogel with enhanced mechanical properties, anti-swelling, and adsorption capacity. *Chemosphere*, 237, 124417.

13. ANEXOS

Tabla 10. Contenido de sólidos solubles y pH

Réplica	Tiempo (días)	Jugo		Isotónico		Hipotónico	
		°Brix	pH	°Brix	pH	°Brix	pH
1	0	14,93	4,35	14,83	4,28	15,03	4,31
1	1	11,80	4,31	12,60	4,15	12,73	4,10
1	2	14,07	4,55	13,33	4,35	12,13	4,35
1	3	14,23	4,28	12,73	4,29	11,53	4,29
1	4	13,93	4,23	13,43	4,23	11,80	4,25
1	8	12,80	4,26	11,73	4,24	12,40	4,24
1	9	13,90	4,31	12,63	4,34	12,03	4,33
1	10	12,67	4,32	11,47	4,40	11,83	4,38
1	11	12,57	4,31	11,57	4,43	11,57	4,39
1	14	13,70	4,21	12,27	4,33	12,33	4,33
2	0	14,47	4,42	14,37	4,43	14,47	4,36
2	1	11,47	4,36	12,03	4,39	11,30	4,40
2	2	11,93	4,42	11,57	4,35	11,20	4,35
2	3	12,33	4,42	12,63	4,51	11,73	4,44
2	4	12,27	4,45	12,20	4,47	12,07	4,48
2	8	11,70	4,43	10,03	4,41	11,57	4,43
2	9	12,10	4,33	11,23	4,40	9,00	4,39
2	10	12,00	4,38	12,03	4,42	10,60	4,43
2	11	11,47	4,25	10,73	4,26	10,43	4,28
2	14	12,10	4,45	11,20	4,42	11,17	4,42
3	0	14,77	4,50	14,63	4,10	14,60	4,47
3	1	13,57	4,40	12,07	4,25	11,33	4,48

3	2	14,10	4,33	12,87	4,35	10,70	4,43
3	3	12,13	4,07	12,53	4,39	10,53	4,44
3	4	13,13	4,40	11,90	4,43	10,77	4,41
3	8	12,73	4,39	12,23	4,25	11,17	4,36
3	9	14,20	4,44	12,67	3,86	11,30	4,24
3	10	14,77	4,43	12,10	4,27	10,97	4,38
3	11	13,47	4,35	12,37	4,35	11,10	4,25
3	14	12,93	4,22	12,10	4,37	11,13	4,13

Tabla 11. Cambio en la masa, volumen y densidad a través del tiempo para réplicas 1, 2 y 3.

Réplica 1									
Tiempo (días)	Jugo			Isotónico			Hipotónico		
	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)
0	1,22	1,00	1,22	1,20	1,00	1,20	1,18	1,00	1,18
1	0,92	0,93	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	1,01
2	0,89	0,95	0,94	0,97	0,98	0,99	0,98	0,97	1,02
3	0,87	0,83	1,04	0,98	0,98	0,99	0,95	0,95	1,00
4	0,84	0,82	1,04	0,96	0,98	0,98	0,95	0,90	1,05
8	0,85	0,80	1,06	0,93	0,93	1,00	0,92	0,88	1,04
9	0,83	0,80	1,04	0,92	0,93	0,99	0,90	0,93	0,97
10	0,82	0,80	1,03	0,91	0,88	1,04	0,89	0,85	1,06
11	0,81	0,77	1,06	0,90	0,88	1,02	0,89	0,88	1,02
14	0,80	0,77	1,04	0,90	0,97	0,93	0,90	0,90	1,00
Réplica 2									
0	1,02	1,02	1,00	1,04	1,02	1,02	0,98	1,00	0,99
1	0,94	1,03	0,91	0,96	1,02	0,95	0,91	0,97	0,94
2	0,90	0,98	0,91	0,98	1,02	0,96	0,91	0,92	0,99
3	0,87	0,95	0,92	0,96	1,00	0,96	0,90	0,93	0,96
4	0,87	0,92	0,95	0,98	1,00	0,98	0,91	0,92	1,00
8	0,84	0,82	1,03	0,96	0,95	1,01	0,89	0,95	0,94
9	0,82	0,83	0,99	0,94	0,93	1,01	0,88	0,88	0,99
10	0,82	0,83	0,98	0,93	0,93	1,00	0,88	0,87	1,01
11	0,81	0,82	0,99	0,92	0,83	1,13	0,86	0,88	0,97
14	0,78	0,72	1,09	0,90	0,95	0,95	0,86	0,85	1,01
Réplica 3									
0	1,02	0,98	1,03	1,08	1,07	1,02	1,08	1,03	1,04
1	0,95	1,00	0,95	1,01	1,00	1,01	1,01	1,02	0,99
2	0,91	0,95	0,96	0,99	0,98	1,01	0,98	0,98	1,00
3	0,90	0,88	1,02	0,97	1,00	0,97	0,97	0,98	0,99

7	0,88	0,85	1,03	0,96	0,97	1,00	0,94	0,95	0,99
8	0,87	0,82	1,06	0,95	0,97	0,98	0,93	0,95	0,98
10	0,85	0,80	1,06	0,92	0,90	1,02	0,91	0,93	0,98
11	0,83	0,80	1,04	0,91	0,88	1,04	0,91	0,92	1,00
14	0,82	0,78	1,05	0,91	0,87	1,05	0,91	0,93	0,97
