



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES ELABORADOS CON ALGINATO DE
SODIO y GLICEROL PARA LA ENCAPSULACIÓN DE AGUA Y UNA BEBIDA
ISOTÓNICA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN BIOTECNOLOGÍA

P R E S E N T A:

ARELLY LÓPEZ REYES



ASESORA DE TESIS:
DRA. MA. DEL CARMEN HERNÁNDEZ JAIMES

COASESOR DE TESIS:
DR. EDGAR JAVIER MORALES MORALES

Resumen.....	6
1.- Introducción.....	7
2.- Marco Teórico.....	9
2.1 Empaques alimenticios	9
2.2 Recubrimientos comestibles	10
2.2.1 Antecedentes de los recubrimientos comestibles.....	11
2.2.2 Importancia de los recubrimientos comestibles	13
2.2.3 Propiedades de los recubrimientos comestibles.....	14
2.2.4 Materiales utilizados en la elaboración de recubrimientos comestibles	15
2.2.4.1 Hidocoloides.....	16
2.2.4.1.1 Polisacáridos.....	17
2.2.4.1.1.1 Alginato de sodio.....	18
2.2.4.1.1.2 Proteínas	20
2.2.4.2 Lípidos.....	21
2.2.4.2.1 Aceites esenciales	21
2.2.4.3 Materiales combinados.....	22
2.2.4.4 Lactato de calcio	22
2.3 Plastificantes	23
2.3.1 Glicerol	23
2.4 Prueba hedónica	24
2.5 Eventos deportivos	25
2.4.1 Agua simple	26
2.4.2 Bebidas isotónicas.....	26
3 Justificación.....	28
4 Hipótesis.....	29
5 Objetivos.....	29
6 Materiales y Métodos	29
6.1 Materiales	29
6.2 Métodos	29
6.2.1.1 Elaboración de esferas encapsulando agua simple y una bebida isotónica.	29
6.2.1.3 Prueba de resistencia y elasticidad	31
6.2.1.4 Prueba de vida útil.....	31
6.2.1.5 Prueba de termoestabilidad	32
6.2.1.6 Prueba sensorial.....	32
6.2.1.7 Análisis estadístico.....	33
7 Resultados y Discusión.....	34
7.1 Elaboración de esferas de alginato encapsulando agua y una bebida isotónica.....	34
7.2 Elasticidad y resistencia	35
7.3 Vida Útil	38
7.4 Termoestabilidad.....	41

7.5 Análisis Sensorial	42
8 Conclusiones	47
9 Perspectivas.....	48
10 Bibliografía	49

Índice de figuras

Figura 1. Modelo "caja de huevo" (Avendaño-Romero et al., 2013).....	19
Figura 2. Esfera de alginato de sodio (Laboratorio de procesos Biotecnológicos de la UAEMéx).....	20
Figura 3. Estructura química del lactato de calcio (Marigese, 2010)	22
Figura 4. Molécula de glicerol (Baldassa et al., 2022).....	24
Figura 5. Clasificación general de las pruebas sensoriales (Severiano, 2018)....	24
Figura 6. Boleta prueba hedónica de 9 punto para medir las características de las esferas con agua simple y bebida isotónica con y sin glicerol (Núñez, 2022)	33
Figura 7. Perfil sensorial de prueba hedónica de esferas de alginato que contienen agua simple (EAS).....	43
Figura 8. Perfil sensorial de prueba hedónica de esferas de alginato que contienen agua simple y glicerol (EASG).....	44
Figura 9. Perfil sensorial de prueba hedónica de esferas de alginato que contienen una bebida isotónica (EBI)	45
Figura 10. Perfil sensorial de prueba hedónica de esferas de alginato que contienen una bebida isotónica y glicerol (EBIG).....	45

Índice de tablas

Tabla 1. Información nutrimental de bebida isotónica comercial 1L.....	27
Tabla 2. Formulación de los tratamientos	30
Tabla 3. Clave de identificación de los tratamientos	32
Tabla 4. Esferas de cada formulación	34
Tabla 5. Valor promedio para la medición de la elasticidad de los recubrimientos de las esferas	36
Tabla 6. Valores promedio para la resistencia de los recubrimientos de las esferas de alginato.....	37
Tabla 7. Análisis de vida útil a temperatura ambiente	38
Tabla 8. Análisis de vida útil a temperatura de refrigeración	39
Tabla 9. Datos de termoestabilidad de las esferas a 22°C	41
Tabla 10. Datos de termoestabilidad de las esferas a 36°C	41
Tabla 11. Datos de termoestabilidad de las esferas a 48°C	42

Resumen

Los plásticos elaborados a partir de materiales no biodegradables que provienen principalmente de la industria alimentaria han originado gran cantidad de desechos en el medio ambiente. Así mismo, existe una gran cantidad de eventos deportivos en donde hay gran afluencia de personas que consumen grandes cantidades de agua simple y bebidas isotónicas embotelladas y, por lo tanto, generan un elevado número de desechos plásticos; surgiendo interés de la comunidad científica por la creación de envolturas que resulten biodegradables, utilizando biopolímeros.

Por tal razón, en el presente trabajo se elaboraron recubrimientos comestibles encapsulando agua simple y una bebida isotónica para después ser considerados a utilizarse en eventos deportivos y así disminuir la afluencia de los desechos generados.

Se elaboraron cuatro tratamientos en donde el alginato de sodio y el lactato de calcio se mantuvieron constantes y las variables fueron el líquido a encapsular y la adición o no de glicerol, todos los tratamientos fueron sometidos a cuatro pruebas para evaluar su viabilidad, las cuales fueron: elasticidad y resistencia, vida útil a temperatura ambiente y en refrigeración, termoestabilidad a 22, 36 y 48°C, y una prueba hedónica.

Los resultados obtenidos revelan que es posible esferificar bebidas con un pH ácido y de acuerdo con las pruebas realizadas, las esferas presentan una vida útil más prolongada a temperatura de refrigeración, la adición de glicerol en las esferas disminuye la elasticidad y aumenta la resistencia a la rotura después de un tiempo de ser elaboradas; se determinó que los recubrimientos no resultan estables a altas temperaturas. Por último, la prueba hedónica estableció que la bebida isotónica encapsulada y adicionada con glicerol presentó una aceptación mayor respecto a los demás tratamientos.

1.- Introducción

En la actualidad el uso de plásticos utilizados para la elaboración de empaques de productos industriales, principalmente en el área alimenticia, ha originado grandes problemas ambientales, por su disposición final que genera acumulación en los rellenos sanitarios debido a que no son biodegradables (Buteler, 2019).

El aumento progresivo en la contaminación ha ocasionado un gran interés a nivel mundial por la eliminación de prácticas que vayan en contra de la sustentabilidad ambiental (Bhargava *et al.*, 2020).

De acuerdo con datos de Santillán (2018), en México se producen 300 millones de toneladas de plásticos al año, de los cuales solo se logra reciclar el 3%, aunado a ello, se estima que al año se producen 200 botellas de polietileno tereftalato (PET) por cada mexicano, esto debido al alto consumo de refresco y agua embotellada.

Como consecuencia, se ha dado un creciente aumento de la conciencia frente al deterioro del planeta y han surgido diferentes ideas de innovación en la utilización de materiales biodegradables, con el fin de reducir el uso de los envases de plástico que han llegado a ser un gran problema para el medio ambiente (Navia y Villada., 2013).

Dentro de los últimos años, diferentes empresas tomaron la decisión de mejorar sus hábitos cambiando sus empaques plásticos por unos más amigables con el ambiente, surgiendo así numerosos materiales que además de garantizar una mejor protección del alimento, contribuyen a la sustentabilidad ambiental, algunos fueron la creación de envoltorios hechos a base de cartón, papel reciclado o botellas elaboradas con materiales derivados de plantas, entre otros (Rivera *et al.*, 2019).

De igual manera, se ha implementado el uso de biopolímeros para la creación de empaques biodegradables, siendo esta la aplicación que más interés ha suscitado en el medio científico, debido a que su uso para el desarrollo de nuevos materiales para envasado reduce la presencia de polímeros sintéticos derivados de fuentes no renovables, como lo es el petróleo (Rivera *et al.*, 2019).

La investigación sobre empaques se ha enfocado en recubrimientos comestibles que como se mencionó anteriormente, son elaborados a base de biopolímeros como proteínas,

polisacáridos y lípidos, derivados de fuentes renovables que además de ser completamente degradados en alrededor de 6 semanas tienen una gran capacidad de evitar el deterioro de diferentes productos alimenticios (Rachmawati *et al.*, 2015). Los polisacáridos más utilizados en la elaboración de recubrimientos comestibles son:

- Almidón: No es un termoplástico, se caracteriza por su abundancia, fácil procesamiento y manipulación, presente en maíz, trigo, ñame, papa, etc. (Durango *et al.*, 2011).
- Quitosano: Es muy utilizado en composición de recubrimientos alimenticios por su acción bactericida y fungicida, teniendo la capacidad de ligarse a moléculas de agua e inactivar enzimas microbianas (Durango *et al.*, 2011).
- Pectinas: Complejos aniónicos que pueden ser pectinas de alto o bajo metoxilo siendo las de alto metoxilo quienes forman excelentes recubrimientos, además de ser potentes antimicrobianos, tienen propiedades mecánicas y de barrera (Villada *et al.*, 2007).
- Alginato: Comúnmente utilizado en elaboración de recubrimientos comestibles por sus propiedades termorresistentes, además es incoloro, inodoro y prolonga la vida útil de los alimentos (Aguirre, 2016).

Es importante destacar la importancia de los biopolímeros para la creación de recubrimientos comestibles ya que además de presentar numerosas ventajas, mejoran la apariencia de los alimentos, protegen sus propiedades de almacenamiento, mejoran la textura, las características sensoriales y adicionan valores nutricionales al producto (Rivera *et al.*, 2019).

Por otro lado, en la actualidad existen reportes de eventos deportivos donde se genera una gran cantidad de desechos debido a la participación de miles de personas que consumen grandes cantidades de agua y bebidas isotónicas embotelladas (Valle *et al.*, 2011), por ello, el empleo de recubrimientos biodegradables comestibles podría ser una buena alternativa para contrarrestar los problemas de contaminación ocasionados por los empaques actuales de bebidas. Con base en lo anterior, en este trabajo se elaboraron recubrimientos comestibles elaborados con alginato de sodio y glicerol para la

encapsulación de agua y una bebida isotónica, como una propuesta para contrarrestar la contaminación causada por el uso de empaques no biodegradables.

2.- Marco Teórico

De acuerdo con el World Wildlife Fund (WWF, 2019) nos encontramos en medio de una crisis mundial de desechos plásticos. Esto se ha convertido en un gran problema porque continúa causando estragos en el entorno natural, afectando a las comunidades y vida silvestre y se considera que actualmente, la responsabilidad para reducir los desechos plásticos recae en los consumidores.

Los envases plásticos para aplicaciones alimentarias y no alimentarias en su mayoría resultan no ser biodegradables, además de consumir recursos valiosos no renovables. El reciclado es una buena opción para promover la disminución de emisión de gases de efecto invernadero, pero al producirse sobre el residuo ya generado, no se considera una alternativa efectiva para todos los plásticos (Valero *et al.*, 2013).

Con el fin de aminorar los problemas de contaminación existentes, se han realizado diversos estudios para evaluar materiales alternativos. Por esta razón, surgió el concepto de plásticos biodegradables que son asociados al uso de materias primas renovables (Demuner y Guzmán, 2019).

Los biopolímeros suponen una solución al problema que ocasiona el plástico fabricado a partir de petróleo, al ser utilizados en la elaboración de recubrimientos comestibles porque son biodegradables, renovables y abundantes (Valero *et al.*, 2013).

En la actualidad, con el advenimiento de la tecnología se ha llevado a cabo la formación de diferentes biopolímeros sintéticos; estos traen consigo numerosas ventajas, entre ellas, el potencial de crear industrias sostenibles, mejorar la durabilidad, flexibilidad, claridad y la resistencia a la tracción (Othman, 2014).

2.1 Empaques alimenticios

Desde tiempos atrás han surgido diferentes avances tecnológicos con los que se ha ofrecido a la humanidad la posibilidad de mejorar la calidad de vida, como es el caso de los empaques alimenticios, conforme avanza el ritmo de vida se genera un crecimiento

cada vez más grande en las industrias dedicadas a su fabricación (Demuner y Guzmán, 2019).

Los empaques sirven de protección contra ciertos factores como la humedad, la luz, la oxidación que provoca el aire, entre otros y son considerados los principales métodos de conservación de bebidas y alimentos, algunos de los materiales utilizados en su elaboración son: vidrio, metal, papel y cartón, embalajes polilaminados y plástico (CCB, 2017).

Y así como los empaques han sido de gran utilidad, también han ocasionado grandes problemas ambientales por la acumulación de desechos que se generan debido a que son productos derivados del petróleo, su fabricación necesita de un gran costo energético que resulta altamente contaminante y tienen la desventaja de no ser biodegradables (Demuner y Guzmán, 2019).

Debido a la preocupación que ha generado la contaminación ambiental, han surgido numerosas alternativas naturales para reducir la basura que provocan los plásticos sintéticos, utilizando materias primas renovables como los biopolímeros para la elaboración de películas o recubrimientos comestibles (Demuner y Guzmán, 2019).

2.2 Recubrimientos comestibles

Un recubrimiento comestible puede definirse como una matriz transparente, comestible y delgada que se distribuye alrededor del alimento, la cual puede ser generada a base de una inmersión de este en una solución formadora con el fin de promover su calidad y servir de empaque (Fernández *et al.*, 2015).

Las soluciones formadoras de recubrimientos están formadas de polímeros biodegradables, que no resultan tóxicos e incrementan la calidad de conservación (Del-Valle *et al.*, 2005).

Zamudio (2014) menciona que los recubrimientos comestibles deben cumplir ciertos parámetros funcionales, que permitan evaluar la calidad de dichas soluciones, algunos son:

- Presentar características sensoriales adecuadas, es decir, ser transparentes y no ser detectados durante su consumo.

- Mejorar las propiedades mecánicas y preservar la textura.
- Regular distintas condiciones de interfase o superficiales del alimento, a través del agregado de aditivos como antioxidantes, agentes microbianos y nutrientes.
- Prolongar la vida útil del alimento, controlando el desarrollo de microorganismos.
- Presentar propiedades de barrera como transferencia de distintas sustancias, permeabilidad a gases y volátiles, desde el alimento hacia el exterior y viceversa.

Los recubrimientos son elaborados a base de diferentes materiales que son utilizados solos o en combinación, aprovechando así las ventajas que cada uno posee, añadiendo a estas formulaciones, plastificantes que tienen la finalidad de mejorar las propiedades del recubrimiento. Los polisacáridos y las proteínas son los hidrocoloides más utilizados en la industria alimentaria para la formación de recubrimientos, algunos de los más aprovechados son: pectinas de alto y bajo metoxilo, celulosa y sus derivados, alginato, quitosano, dextrina, carragenato, gomas, entre otros (Durango *et al.*, 2011).

2.2.1 Antecedentes de los recubrimientos comestibles

En los años 70's, los polímeros petroquímicos eran el material más ampliamente utilizado para recubrir, ya que tenían un alto rendimiento y eran de bajo costo (Callegarin *et al.*, 1997). Sin embargo, el surgimiento de los problemas ambientales asociados al uso de materiales no biodegradables impulsó a los científicos a buscar materiales alternativos (Petersson y Stading, 2005).

Los recubrimientos comestibles han sido empleados a lo largo de varios siglos, con el fin de prevenir la pérdida de humedad y mantener la calidad y textura de los alimentos durante su almacenamiento (Jooyandeh, 2011).

En los siglos XII y XIII se utilizó la cera para retrasar la deshidratación de cítricos en China. Años más tarde, a principios del siglo XVI, ya eran aplicados recubrimientos en carne, estos eran cubiertos con grasas y así evitaban su contracción (Debeaufort *et al.*, 1998). En Europa el proceso era coloquialmente conocido como "larding", este consistía en el almacenamiento de frutas con ceras o grasas para posteriormente consumirlo. Este proceso prevenía la pérdida de agua, pero el grosor de la envoltura tenía grandes interferencias con el intercambio gaseoso natural, lo que a su vez producía productos de calidad inferior (Debeaufort *et al.*, 1998).

Más adelante, en el siglo pasado, fue sugerida la preservación de la carne y otros alimentos recubriéndolos con películas de gelatina. Un recubrimiento comestible a base de Yuba, que es obtenida de la nata de la leche de soya (*Glycine max*) hervida, se usaba tradicionalmente en Asia para mejorar apariencia y preservación de diferentes alimentos. A medida que transcurría el siglo XIX, comenzaba a aplicarse sacarosa como recubrimiento en nueces, almendras y avellanas para evitar la oxidación durante su almacenamiento (Quintero *et al.*, 2010).

La aplicación más importante hasta ahora de los recubrimientos comestibles desde la década de 1930 radica en el uso de una emulsión realizada a base de ceras y aceite en agua que es esparcida sobre las frutas para mejorar su aspecto, proporcionar brillo, color, ablandamiento y así controlar de una mejor manera su maduración retrasando la pérdida de agua (León, 2018).

Para otro tipo de alimentos han sido utilizados numerosos recubrimientos hechos a base de polisacáridos comestibles tales como alginatos, carragenatos, éteres de celulosa, pectina y derivados de almidón (León, 2018).

Los recubrimientos se han desarrollado con el fin de alargar la vida útil de los alimentos, así como servir de soporte de agentes antimicrobianos, nutrientes y antioxidantes y para aminorar el paso de humedad; teniendo propiedades mecánicas adecuadas para una correcta adhesividad a los alimentos y fácil manipulación de ellos sin llegar a deteriorarse, siendo totalmente neutras al color, tacto y olor (Famá *et al.*, 2004).

El proceso para atraer agentes activos dentro de un material portador, que además es de gran utilidad para mejorar la liberación de moléculas bioactivas y células vivas en alimentos y bebidas, proporciona una barrera entre materiales bioactivos sensibles y el medio ambiente, favorece la diferenciación entre el sabor y aroma, disfraza malos sabores, disminuye la evaporación, promueve la inmovilización de células o enzimas en aplicaciones de procesamiento de alimentos, así como procesos de fermentación y metabolitos, es comúnmente conocido como esferificación (Peanparkdee *et al.*, 2016). El concepto de esferificación es una técnica de gastronomía molecular que lleva su origen al siglo XXI. Este concepto hace referencia a la encapsulación de líquidos en esferas con una textura gelatinosa. Dichas esferas funcionan como recubrimiento y tienen la capacidad

de poseer estabilidad suficiente para poder ser manipuladas. La conformación en forma de esfera ocurre gracias al uso de polisacáridos de origen marino y bacteriano que poseen amplia capacidad gelificante. En dicha disciplina son utilizadas las sales de calcio para realizar esferificaciones, que son compuestos ampliamente útiles en la elaboración de gran cantidad de productos consumibles, como el cloruro de calcio (CaCl_2), lactato de calcio ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CaO}_6$) o gluconolactato de calcio ($\text{C}_9\text{H}_{16}\text{CaO}_{10}$). El cloruro de calcio es un compuesto químico inorgánico, mineral, el gluconolactato de calcio está conformado por la mezcla de sal de gluconato cálcico y sal de lactato cálcico y el lactato de calcio es una sal cálcica del ácido láctico (Aguirre, 2016).

2.2.2 Importancia de los recubrimientos comestibles

El desarrollo de recubrimientos comestibles ha adquirido gran importancia debido a que su uso permite aumentar la vida útil, mejorar las propiedades organolépticas y reducir el uso de materiales de empaquetamiento no biodegradables en muchos productos alimenticios, además cumplen bastantes requisitos que están involucrados en la comercialización de los alimentos como lo son el valor nutricional, la sanidad, calidad y estabilidad (Aguilar *et al.*, 2012).

La utilización de recubrimientos es cada vez mayor, esto debido a que posee ventajas sobre los materiales sintéticos, al ser biodegradable y amable con el medio ambiente. Es importante reconocer las características funcionales de un recubrimiento comestible ya que al ser utilizados para una aplicación particular dependen en su mayoría de la naturaleza del alimento y de sus propiedades fisicoquímicas (Karbowski *et al.*, 2007).

Dichos recubrimientos funcionan como barreras para la transferencia de gases, humedad y nutrientes; son de vital importancia para disminuir el deterioro de alimentos que son causados por factores ambientales. De igual manera, estos disminuyen o en ocasiones evitan la oxidación y pérdida de compuestos volátiles responsables de sabores y propiedades específicas de los alimentos (Domínguez y Jiménez, 2012).

Se han establecido ciertos requisitos deseables en un recubrimiento, entre ellos destacan: no contener compuestos tóxicos o alérgenos; brindar al alimento estabilidad estructural y prevenir de daños durante su manipulación y distribución; brindar cobertura uniforme al alimento, por lo que debe tener una correcta adherencia a su superficie; mantener el

contenido de humedad en balance siendo así que su composición debe diseñarse para controlar la pérdida de agua, ser semipermeable, estabilizar el aroma, sabor y valor nutritivo para prevenir la pérdida de absorción de componentes que afecten dichos parámetros sin afectar las características organolépticas; brindar protección contra el deterioro; funcionar como soporte para antioxidantes y nutrientes y por último que la tecnología y la materia prima utilizada en la elaboración de estos recubrimientos sea accesible (León, 2018).

2.2.3 Propiedades de los recubrimientos comestibles

De acuerdo con Hanco (2017), un recubrimiento comestible es definido como una capa de material delgado y colocado sobre un alimento o bebida como un recubrimiento, lo que significa que debe estar preformada y debe ser colocada sobre o entre los compuestos de las bebidas o alimentos. El propósito principal de estos recubrimientos es disminuir la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, etc.

Los recubrimientos comestibles presentan propiedades funcionales que se vinculan directamente con su procesamiento (León, 2018). Para que los recubrimientos comestibles sean utilitarios y óptimos, se deberá conceder especial importancia en la elección de los materiales que los forman, ya que sus propiedades están estrechamente ligados por la naturaleza de sus componentes y su estructura final.

Puesto que son considerados como aditivos alimentarios, deben poseer diferentes propiedades de protección para la preservación de los productos, los recubrimientos comestibles deben mostrar las características que adelante se mencionan (Parzanese, 2011):

- Tener propiedades nutricionales y organolépticas que sean compatibles con la bebida a recubrir.
- Mostrar propiedades mecánicas adecuadas y así evitar pérdidas por roturas o quiebre del material.
- Mantenerse estables al ser expuestos a diferentes condiciones de almacenamiento.
- Tener fácil adherencia a los alimentos o bebidas a los que sean añadidos.
- Fabricación de bajo costo para su producción y futura aplicación.

- Se minimizan los residuos de envasado, esto debido a que cuando un recubrimiento se añade a un alimento o bebida es más sencillo su embalaje.
- Pueden ser ingeridos por los consumidores.
- Controlan el intercambio de gases y de vapor de agua.
- Mejoran las propiedades mecánicas y preservan la textura.
- Extienden la vida útil de alimentos procesados a través del control en el desarrollo de microorganismos, mejorando así sus características nutricionales y organolépticas.
- Se pueden ajustar las distintas condiciones de interfase o superficiales del alimento, mediante el agregado de antioxidantes, agentes antimicrobianos y nutrientes.
- Deben estar libres de tóxicos y ser seguros para la salud.
- Deben requerir una tecnología simple para su elaboración.
- Las materias primas y el costo de producción del recubrimiento deben ser de bajo costo.

Además de las características antes mencionadas, los recubrimientos deben cumplir también con características específicas que dependen del alimento o bebida considerando sus procesos metabólicos, mencionando por ejemplo (Hanco, 2017):

- Propiedades sensoriales: Ser transparentes, no brindar sabor, color y también son inodoras con excepción de ciertos recubrimientos en los que su principal función sea proveer de sabor o color a la bebida.
- Propiedades de barrera: Cubiertas con gran permeabilidad al vapor de agua y solutos, las cubiertas deben tener una adecuada permeabilidad al vapor de agua y a solutos.

2.2.4 Materiales utilizados en la elaboración de recubrimientos comestibles

Robertson (2008) menciona que los materiales utilizados en la realización de recubrimientos comestibles y su empaquetamiento ha sufrido un cambio histórico y fue organizado en tres generaciones:

- Primera generación: Incluidos los materiales antiguamente utilizados, por ejemplo, bolsas de plástico hechas a base de polietileno de baja densidad (PEBD) que

contenían aproximadamente de 5 a 15% de fibras de almidón añadidos con materiales pro y auto oxidativos, que tenían una lenta descomposición, transformándose en moléculas de tamaño reducido que no eran biodegradables.

- Segunda generación: Empaques formados a base de una mezcla de almidón 40-75% y PEBD más la adición de copolímeros hidrofílicos, por ejemplo, polivinil-alcohol y acetato de vinilo, actuando como agente compatible. La degradación completa de este material era de aproximadamente 40 días y la degradación final del recubrimiento entre 2 y 3 años. Cabe destacar que debido a las características que poseían estos empaques su fiabilidad se ponía en duda, debido a su largo tiempo de degradación final y no eran totalmente aceptados en el sector comercial.
- Tercera generación: Son los empaques biodegradables, dividiéndose a su vez en cinco categorías: a) proteínas, b) Hidrocoloides, c) Lípidos, d) Compuestos y e) Plastificantes.

Algunos de los materiales más utilizados en la elaboración de recubrimientos comestibles son: hidrocoloides, lípidos, materiales combinados y lactato de calcio; esto será dependiendo de las características deseadas en el recubrimiento. Con el paso del tiempo se han llevado a cabo diversos estudios de las interacciones que ocurren entre estos polímeros, en su diseño y aplicación de recubrimientos con propiedades mecánicas y de barrera mejoradas. Gracias a la investigación se han encontrado recubrimientos de los cuales sus materiales han sido modificados para mejorar más el funcionamiento de cada uno, encontrando algunos que tiene la capacidad de controlar la atmósfera interna del alimento, además de algunas que proporcionan brillo o color, mejorando su calidad visual, otras que son capaces de evitar la contaminación y propagación microbiana, aquellas en las que su tecnología de elaboración cubren no sólo alguno de los aspectos anteriores, sino dos o más de ellos. Estas mejoras permitirán una amplia disminución de residuos contaminantes y/o tóxicos.

2.2.4.1 Hidrocoloides

Son polímeros hidrofílicos de origen animal, vegetal, microbiano o sintético que contienen grupos oxhidrilos -OH y en ocasiones pueden ser polielectrolitos. Son utilizados en la industria como aditivos con el fin de gelificar o estabilizar. Se dispersan fácilmente en el agua, aumentan en gran medida la viscosidad de la fase continua, reducen el movimiento

cinético permitiendo así la disminución de la tasa de floculación y coalescencia de los recubrimientos. Su utilización proporciona buenas propiedades mecánicas, además sirve de barrera para O₂ y CO₂. Entre los más utilizados se encuentran los polisacáridos como la celulosa, quitosano, alginatos, carragenatos, almidón, gelanos y pectinas de las frutas, también proteínas de origen animal como caseínas, gelatinas, albúminas o suero de leche, o de origen vegetal como la soja y zeína (Raghav *et al.*, 2016).

2.2.4.1.1 Polisacáridos

Los polisacáridos mayormente utilizados en la elaboración de películas comestibles son los almidones, los alginatos, las pectinas, el quitosano, los carragenanos y los derivados de la celulosa (De Ancos *et al.*, 2015).

- Almidones: Su empleo en la fabricación de recubrimientos es muy conveniente debido a que son polímeros biodegradables, comestibles y de fuentes abundantes (maíz, trigo, papa, arroz), renovables y de bajo costo. Su principal función es como barrera al O₂ y a los lípidos, como también mejorar la textura de los alimentos (Durango *et al.*, 2011).
- Pectinas: Pertenecen a un grupo complejo de polisacáridos estructurales, se encuentran en una gran cantidad de plantas, principalmente en los cítricos. Para la formación de recubrimientos con este compuesto es necesario añadir una sal de calcio y un plastificante (León, 2018).
- Quitosano: Considerado el polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa. Obtenido principalmente de paredes celulares de hongos, algas, y otros. Utilizado para extender la vida útil y mejorar la calidad de diferentes alimentos ya que presenta una permeabilidad selectiva frente a los gases, además de una pequeña resistencia al vapor de agua, y sus propiedades antifúngicas y antibacterianas (González *et al.*, 2019).
- Carragenanos: Extraídos de algas rojas como las especies *Chondrus* y *Gigarina*. De igual manera que los alginatos, requieren la adición de sales de calcio para la formación de geles, de la cual se obtienen recubrimientos transparentes, incoloros y de sabor ligeramente salado.

- Derivados de la celulosa: Son considerados buenos agentes formadores de recubrimientos, esto por su estructura lineal. Los recubrimientos elaborados a partir de este material son sólidos y resistentes a los aceites y a la mayoría de los solventes orgánicos no polares.
- Alginatos: Los alginatos son considerados hidrocoloides esto debido a su afinidad por el agua y a las propiedades reológicas que posee. Su composición y la secuencia en su cadena polimérica se relaciona con su origen, dando como resultado una gran influencia en su conformación estructural, ambiental y también genética; por consiguiente, su geometría y composición ocasionarán que el polímero tenga propiedades diferentes (Draget, 2000). De ahí la importancia de conocer la forma en que están distribuidos sus monómeros alrededor de la cadena y su peso molecular promedio, algunos parámetros están ligados con la funcionabilidad de los alginatos, la solubilidad, estabilidad y conformación de geles, por mencionar algunos.

2.2.4.1.1.1 Alginato de sodio

Agulhon *et al.*, (2014) describen al alginato de sodio como uno de los polisacáridos naturales más utilizados en la microencapsulación, es extraído de algas pardas, principalmente de tres especies, en las que se incluyen *Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* y *Macrocystis pyrifera*, las cuales comprenden entre el 10 y el 45% de peso seco.

Se ha utilizado ampliamente en industrias como la alimentaria, biomédica, farmacéutica y en el tratamiento de aguas residuales, principalmente en su forma de sodio debido a su solubilidad en agua fría, tiene una alta biodisponibilidad y es de fácil extracción demostrando así su bajo costo (Agulhon *et al.*, 2014).

Su estructura está formada por polímeros lineales en bloque basados en monómeros de -L-guluronato (G) y -D- manuronato (M) conformando secuencias de residuos M- y G- intercalados con secuencias MG-, que contienen cantidades variantes de ácido β -D-manurónico (M: 1,4- enlace ácido β -D-manopiranosilurónico 4C_1) y ácido α -L-gulurónico (G: 1,4-enlace ácido α -L-gulopiranosilurónico 4C_1) estas secuencias varían dependiendo de la fuente de la que proviene el polisacárido (Funami *et al.*, 2009).

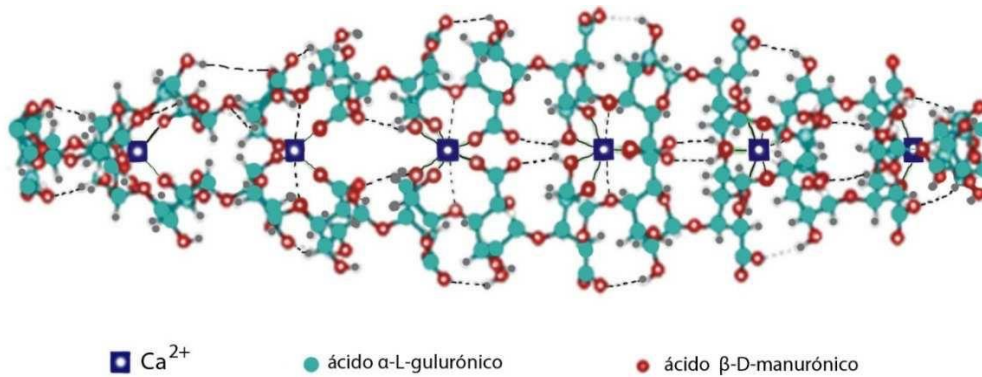


Figura 1. Modelo "caja de huevo" (Avendaño-Romero *et al.*, 2013)

Existen dos procesos con los cuales se puede dar la obtención de alginato de sodio. El primero tiene dos principales intermediarios los cuales son alginato de calcio y ácido algínico. En el segundo la formación no es alginato de calcio, solo ácido algínico (Arvizu *et al.*, 2002).

Arvizu *et al.* (2002) describen el proceso para la obtención de alginato de sodio, iniciando con una molienda de material, colocando en hidratación el alga molida y seca en una solución de formaldehído. Posteriormente una preextracción con ácido clorhídrico, convirtiendo así las sales de alginato en ácido algínico. Para la conversión de ácido algínico en su forma soluble es necesaria una extracción alcalina utilizando carbonato de calcio, finalizando con la precipitación de cloruro de calcio y a partir de este proceso general se llevan a cabo diferentes cambios químicos y físicos para la obtención de diferentes productos específicos utilizados en la industria alimentaria.

El alginato de sodio es ampliamente utilizado en diferentes aplicaciones, esto es debido a sus propiedades versátiles que pueden ser monitoreadas de acuerdo con diferentes estímulos como concentración, temperatura, pH, etc. La aplicación más conocida del alginato es la gelificación que es inducida por el calcio dando como resultado interacciones específicas y resistentes entre iones calcio y residuos de guluronatos que se encuentran presentes en el alginato (Castañón *et al.*, 2020).

Las perlas de alginato son ampliamente utilizadas en la microencapsulación debido a su facilidad de preparación, es un proceso ligero que puede ser realizado en ambientes estériles, los ingredientes que tienen la posibilidad de ser encapsulados son hidrófobos o

hidrófilos, sensibles a la temperatura, líquidos delgados, aceites viscosos, sólidos, etc. (Figura 2) (Castañon *et al.*, 2020).



Figura 2. Esfera de alginato de sodio (Laboratorio de procesos Biotecnológicos de la UAEMéx)

2.2.4.1.2 Proteínas

Kumar y Dubey (2020) mencionan que existe una gran variedad de proteínas utilizadas para la elaboración de recubrimientos, entre las más destacadas se encuentran: caseína, proteínas del suero de queso y la grenetina.

- Caseína: Son buenos formadores de películas debido a su naturaleza anfifílica, además tienen una estructura desordenada y tienen una gran capacidad para formar puentes de hidrógeno. Las películas hechas a base de caseinato presentan características que resultan favorables para uso en alimentos, proporcionando transparencia y flexibilidad. Se han desarrollado recubrimientos comestibles para brownies, cubos de chocolate y donas a partir de caseinato de sodio, aceite de algodón, soja o maíz y al final añadiendo un plastificante.
- Proteínas del suero lácteo: Los recubrimientos realizados a base de proteínas del suero son excelentes barreras al O₂, pero llegan a ser muy frágiles. Existe una solución a este problema ya que se detectó que al añadir un plastificante a la solución sus propiedades mecánicas mejoran considerablemente. Existen unas primeras aplicaciones que se considera están en fase de experimentación y su uso es más común para cobertura en productos que son sensibles al oxígeno, como nueces y maníes, evitando su oxidación y prolongando su vida útil.

- Grenetina: Debido a que es una proteína soluble en agua tiene la capacidad de formar geles transparentes, resulta de gran utilidad en la industria de alimentos, utilizada como agente clarificante, estabilizador y material de recubrimientos, actuando como barrera contra el agua y oxígeno (Quintanilla, 2016).

2.2.4.2 Lípidos

Los lípidos se caracterizan por tener propiedades hidrofóbicas y no ser poliméricos, presentando buenas propiedades de barrera frente a la pérdida de agua y humedad. En el grupo de lípidos aplicados a recubrimientos y películas comestibles se mencionan las ceras, resinas, ácidos grasos, monoglicéridos y diglicéridos. Su utilización principal es como protección de frutas; se aplica una capa lipídica externa como suplemento a la cera natural que poseen los frutos, la cual es removida durante el lavado. Además, se emplean como barrera entre los distintos compuestos de un alimento heterogéneo, como soporte de aditivos liposolubles y para proporcionar brillo a los productos recubiertos. Los lípidos más utilizados son cera de abeja, parafina, aceites vegetales y acilglicéridos (Dhall, 2013; Dhanapal *et al.*, 2012).

2.2.4.2.1 Aceites esenciales

Los aceites esenciales, resinas, extractos y especias han sido conocidos y utilizados desde la antigüedad en un gran número de aplicaciones, entre las más destacadas se encuentran: perfumes, cosméticos y fármacos. Los aceites esenciales son mezclas de varias sustancias químicas sintetizadas por plantas que brindan el aroma característico a algunas flores, árboles, semillas, etc. Es importante resaltar que la incorporación de aceites esenciales en la matriz polimérica de recubrimientos, se obtiene actividad antimicrobiana que se asocia en la presencia de compuestos volátiles, mayormente en terpenos, terpenoides y compuestos aromáticos, además el uso de aceites esenciales en recubrimientos comestibles puede repercutir en el sabor del producto, su tiempo de vida útil y beneficios antimicrobianos, esto dependiendo el aceite que sea utilizado, el método de aplicación que se lleve a cabo y la cantidad de aceite que sea incorporado a la emulsión (Sapper *et al.*, 2019).

2.2.4.3 Materiales combinados

Los materiales combinados suelen ser de capas separadas, son conocidos como bicapas, en algunos casos son formados por una única capa. Los bicapas son conformados en dos etapas: en la primera se forma la base que es hecha a base de polisacáridos o proteína y en la segunda, se aplica el lípido sobre la base anteriormente formada. Se utilizan en forma de emulsión, suspensión o dispersión. Los recubrimientos comestibles obtenidos mediante estas mezclas son transparentes, incoloros y bastante flexibles además contribuyen en la mejora de propiedades mecánicas, aumentan las propiedades de barrera contra la pérdida de humedad y también poseen actividad antimicrobiana (Rosero *et al.*, 2020).

2.2.4.4 Lactato de calcio

El lactato es la forma ionizada del ácido láctico que tiene una solubilidad en agua de 3.4 g por 100 g de agua a 20°C y que aumenta considerablemente al incrementar la temperatura. El lactato de calcio ($C_6H_{10}CaO_6$) es una sal de calcio que es utilizado como conservante natural en la industria alimentaria. Su nombre químico sistemático es dilactato de calcio o sal cálcica del ácido 2-hidroxipropanoico, obtenido mediante la reacción del ácido láctico con carbonato de calcio o hidróxido de calcio. El lactato de calcio tiene su presentación como un polvo granulado de color blanco y olor suave (Marigese, 2010).

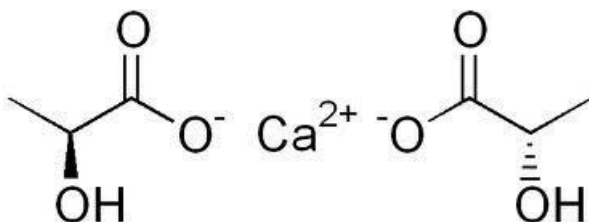


Figura 3. Estructura química del lactato de calcio (Marigese, 2010)

El lactato de calcio es comúnmente utilizado en la industria alimenticia como conservante natural contra hongos y levaduras mayormente, también tiene aplicación en la fermentación de algunos tipos de frutas. Se utiliza como estabilizante de frutas y verduras durante el proceso industrial, para prevenir la pérdida de agua (Melgarejo y Ramos., 2016). Valverde (2007) menciona que el lactato al ser una sal orgánica cuenta con propiedades adecuadas de solubilidad, siendo de gran ayuda en bebidas claras, jugos, leche de soya,

néctares, leche fortificada, etc., es decir al mezclar el lactato con otras sales de calcio puede funcionar como estabilizador de bebidas.

El departamento de Administración de Drogas y Alimentos (FDA), por sus siglas en inglés aprueba el uso de lactato de calcio en general a diferentes productos alimenticios que tengan concentración de 0.6% en la formulación del producto (Melgarejo y Ramos, 2016).

2.3 Plastificantes

Una producción óptima de recubrimientos utilizados como empaques necesita condiciones adecuadas; un buen enfoque para optimizar las propiedades de los recubrimientos es el proceso de plastificación (Bhargava *et al.*, 2020).

Farhan y Hani (2017) definen a los plastificantes como agentes hidrofílicos de pequeño peso molecular, que se intercalan entre las cadenas de polímeros, interrumpiendo los enlaces de hidrógeno y separando las cadenas poliméricas.

Los plastificantes disminuyen las fuerzas intermoleculares de las cadenas de polímeros adicionando flexibilidad y funcionabilidad a los recubrimientos, presentando comestibilidad, transparencia y dureza logrando que sean menos frágiles (Fernández *et al.*, 2015).

Entre los más conocidos se encuentran mono, di u oligosacáridos (como la glucosa, los jarabes de fructosa- glucosa y la sacarosa), los polioles (como el glicerol, derivados del glicerilo, el sorbitol y los polietilenglicoles), los lípidos y los derivados como los fosfolípidos (Saklani *et al.*, 2019).

2.3.1 Glicerol

El glicerol o glicerina cuya fórmula es $C_3H_8O_3$, es un líquido viscoso, inodoro, higroscópico y dulce, siendo un componente utilizado como plastificante. Es un alcohol con tres grupos hidroxilos, líquido a temperatura ambiente, con un valor alto en viscosidad, de fácil solubilidad en agua además de ser la base de la formación de los diferentes compuestos lípidos (Sobral *et al.*, 2002).

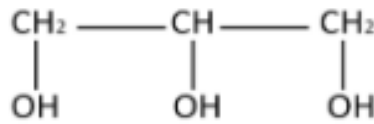


Figura 4. Molécula de glicerol (Baldassa *et al.*, 2022)

Este compuesto en su formulación final tiene la capacidad de incrementar la permeabilidad al vapor, debido a su naturaleza hidrofílica, el cual tiene la facilidad de crear puentes de hidrógeno con las moléculas de agua (Aiello *et al.*, 2020). Es añadido como plastificante para reducir la fragilidad de los recubrimientos y asegurar su correcta formación (Cherian *et al.*, 1995).

2.4 Prueba hedónica

Con el fin de obtener un mejor resultado en el desarrollo de nuevos productos alimenticios, se utilizan técnicas de investigación mediante métodos de estudio y un análisis sensorial (Ramírez, 2012).

El análisis sensorial es una disciplina científica empleada para medir e interpretar reacciones a ciertas características de alimentos como la textura, olor color y sabor, detectadas mediante los sentidos, dando información sobre el grado de aceptación, aportando información útil sobre control de elaboración, almacenamiento entre otras (Núñez., 2022).

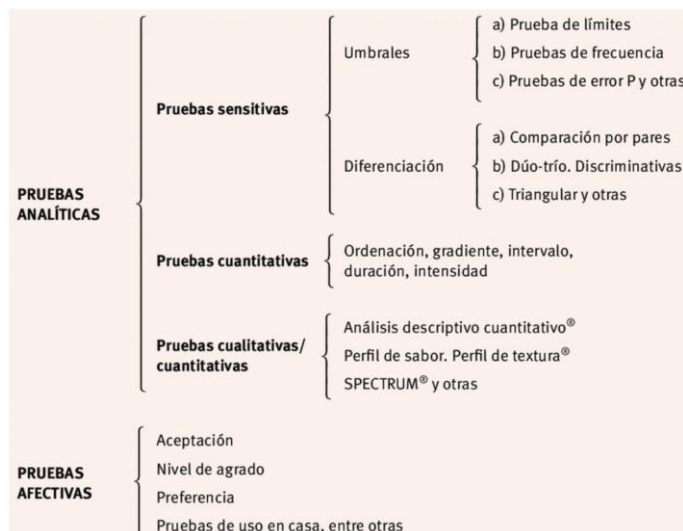


Figura 5. Clasificación general de las pruebas sensoriales (Severiano, 2018)

En una prueba de análisis sensorial son empleadas escalas de intervalos, estas permiten ordenar las muestras de acuerdo con la aceptabilidad o preferencia. La escala más utilizada es la escala hedónica de 9 puntos, desde su invención en 1940 ha sido ampliamente utilizada en la evaluación de diversos productos, es la prueba más recomendada para la mayoría de los proyectos de investigación, su objetivo principal es indicar si existen diferencias entre los niveles de aceptación de los consumidores. Las pruebas son realizadas exclusivamente a consumidores y no a evaluadores entrenados (Ramírez, 2012).

A los panelistas se les solicita evaluar las muestras de los productos, señalando cual es el nivel de agrado de cada muestra, marcando cada una de las categorías que tienen términos como “me gusta extremadamente” hasta “me disgusta extremadamente”, son presentadas numérica o textualmente. Las muestras se codifican con números y letras aleatorias (Ramírez, 2012).

2.5 Eventos deportivos

En las últimas décadas ha aumentado la práctica de deportes al aire libre. Se trata de eventos deportivos que han obtenido gran popularidad debido a su transformación en forma de ocio, turismo y competición, generando un gran impacto en la sociedad. Existen varias publicaciones que han dado a conocer los posibles impactos negativos que pueden producir estas prácticas en el ambiente debido a los desechos generados durante los mismos (Valle *et al.*, 2011).

Es necesario hacer referencia a los eventos deportivos, pues cada vez están más presentes en la vida diaria. Estos eventos son reuniones que atraen gran cantidad de personas, por lo que estas concentraciones constituyen el consumo de bebidas isotónicas e hidratantes y por consiguiente una gran cantidad de desechos. Las bebidas isotónicas son preparados que contienen concentraciones de sal y azúcar que son similares a las del cuerpo humano, esto significa que son buenos para reemplazar fluidos y suministrar energía favoreciendo la hidratación y reposición de electrolitos del organismo ante pérdidas importantes (Valle *et al.*, 2011).

Los desechos de las bebidas embotelladas generalmente están constituidos por envases y productos de un solo uso, los cuales están compuestos por diversos componentes, que

se caracterizan por tener impactos negativos potenciales en el ecosistema. Cuando se filtran y arrojan al medio ambiente, los envases constituyen una fuente potencial de sustancias tóxicas que pueden tener diversos impactos en los sistemas naturales (Innocenti y Breton., 2020).

Una alternativa para contrarrestar el impacto al ambiente es el uso de recubrimientos comestibles elaborados a partir de biopolímeros los cuales presentan numerosas ventajas, entre ellas, ser biodegradables, reciclables, poseer buenas propiedades de barrera y mecánicas y proteger las propiedades durante su almacenamiento y manipulación (Durango *et al.*, 2011).

2.4.1 Agua simple

El agua forma una parte importante en la vida, está encargada de realizar la termorregulación y algunas reacciones bioquímicas, además de tener gran relevancia en la fisiología, su ingestión se divide en dos formas de obtención, a través del agua de oxidación en los alimentos y en su forma fundamental, la que se bebe. Como ya es bastante conocido el aumento en la sudoración de las glándulas sudoríparas al realizar actividades, es el principal motivo por el cual existe pérdida de agua además de que se eliminan vitaminas y minerales principalmente el cloro, el sodio y el potasio (Negrín., 2000). En deportistas es importante tener una buena reposición de líquidos, dependiendo de la carga física, son necesarios desde 3 hasta 4 litros de agua al día, porque un deportista tiene un metabolismo más activo y exigente, incluso estando en reposo (Negrín., 2000). En la actualidad en los lugares donde se realizan actividades de alto rendimiento, los deportistas que tienen desconocimiento o mal uso de la hidratación, es decir beben solo agua, pueden tener implicaciones fisiológicas, esto debido a que si solo se ingiere agua no se obtiene la cantidad suficiente de vitaminas y minerales (Negrín., 2000).

2.4.2 Bebidas isotónicas

Baker (2017) menciona que en 1972 se realizó un estudio en el que se evaluaron dos grupos de personas que realizaron actividad física, al grupo control se le administró agua simple y al grupo experimental se le administró agua con hidratos de carbono y electrolitos. Los autores del estudio concluyeron que los efectos del agua, hidratos de carbono y electrolitos eran sorprendentes. Gracias a esto se produjo la invención de las bebidas

isotónicas, las cuales son bebidas con osmolalidad similar a la de la sangre (280-330/kg) esto facilita el paso de fluido y soluto en el intestino y aumenta el vaciamiento gástrico. Son un componente importante en la dieta de los deportistas, su función principal es mantener la hidratación en el cuerpo a través de minerales y suplementos que se pierden en la sudoración durante la realización de actividad física (Aguilera y Zapata., 2018).

Tabla 1. Información nutrimental de bebida isotónica comercial 1L

Contenido energético	260 Cal (1105 kJ)
Proteínas	0 g
Grasas totales	0 g
De las cuales:	
Grasas saturadas	0 g
Carbohidratos disponibles	65 g
De los cuales	
Azúcares	65 g
Fibra dietética	0 g
Sodio	460 mg
Potasio	125 mg

Fuente: Galarza y Viribay., 2019

La actividad física intensa puede desencadenar un desequilibrio hidroeléctrico, que perjudica el rendimiento de los deportistas, por ello con el paso de los años se han realizado diferentes investigaciones en donde se ha dado a conocer que existen efectos que son peligrosos, entre los cuales están la deshidratación, la hipertemia, la fatiga central, entre otras (Sánchez., 2017).

Cabe señalar que este tipo de bebidas no están indicadas para grupos de personas que no realicen ejercicio físico ya que el consumo habitual de estas bebidas supondría una sobrecarga inservible de sodio que no contribuiría a equilibrar el balance hidroeléctrico (Aguilera y Zapata., 2018).

3 Justificación

En los últimos años, el uso indiscriminado de plásticos no biodegradables utilizados en la elaboración de empaques de bebidas en la industria alimentaria ha originado grandes problemas de contaminación, debido a que son provenientes de recursos fósiles, los cuales no son renovables y cuyas alternativas de disposición final no son amigables con el ambiente (Navia y Villada., 2013).

Conviene subrayar que en la actualidad aún no existe un sector que no dependa de los plásticos; la manera acelerada en cómo se han incorporado en la vida diaria y la poca cultura que existe en la ciudadanía para el reciclaje, expone el patrón de consumo desmedido (Santillán, 2018).

Por ello, se han llevado a cabo distintos esfuerzos que mejoren la problemática con el fin de encontrar materiales para la producción de empaques que resulten menos dañinos al ambiente y por esta razón, el uso de materiales biodegradables contribuirá a reducir la gran cantidad de envases de plástico que se ha convertido en un problema (Navia y Villada., 2013).

Se ha encontrado que los biopolímeros son una buena alternativa para la elaboración de empaques biodegradables, los cuales brindan numerosos beneficios debido a su capacidad para evitar el deterioro de diferentes productos alimenticios, además, sus propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie mantienen o mejoran las características sensoriales y la textura en los alimentos (Rivera *et al.*, 2019).

Cabe mencionar que los biopolímeros aportan diferentes propiedades, por lo que la combinación de ellos va a permitir la elaboración de recubrimientos con mejores características. Con base en información reportada en la literatura, se puede inferir que la combinación de alginato de sodio y glicerol podría dar como resultado la obtención de materiales con características mejoradas (Zhu *et al.*, 2019).

Otra de las ventajas de usar este tipo de empaques es que podrían utilizarse como sustitutos de envases plásticos donde generalmente se contienen bebidas hidratantes.

Con base en lo anterior, en este proyecto se propone el uso de alginato de sodio y glicerol para la elaboración de recubrimientos comestibles en los cuales se contendrá agua simple y una bebida isotónica.

4 Hipótesis

El alginato de sodio y glicerol permitirán la elaboración de recubrimientos comestibles eficientes para la encapsulación de agua simple y una bebida isotónica.

5 Objetivos

Objetivo general

- Elaborar recubrimientos comestibles con alginato de sodio y glicerol para la encapsulación de agua simple y una bebida isotónica.

Objetivos específicos

- Elaborar un recubrimiento comestible encapsulando agua simple.
- Elaborar un recubrimiento comestible encapsulando una bebida isotónica.
- Determinar la resistencia a la rotura y la elasticidad de los recubrimientos comestibles.
- Determinar la termoestabilidad y vida útil de los recubrimientos comestibles.
- Realizar una prueba de análisis sensorial para medir la aceptación del consumidor hacia el recubrimiento.

6 Materiales y Métodos

6.1 Materiales

Alginato de sodio, lactato de calcio, glicerol, obtenidos en Botica la Moderna Toluca, México. Agua simple y bebida isotónica obtenida de manera comercial.

6.2 Métodos

6.2.1.1 Elaboración de esferas encapsulando agua simple y una bebida isotónica.

Se elaboraron 4 formulaciones (Tabla 2). La elaboración de las esferas se llevó a cabo de acuerdo con la metodología descrita por Aguirre (2016) con modificaciones.

Tabla 2. Formulación de los tratamientos

Tratamiento	Formulación
1	Alginato de sodio Lactato de calcio Agua simple
2	Alginato de sodio Lactato de calcio Agua simple Glicerol
3	Alginato de sodio Lactato de calcio Bebida isotónica
4	Alginato de calcio Lactato de calcio Bebida isotónica Glicerol

Para la realización del tratamiento 1 se colocaron en un recipiente de vidrio 9g de alginato de sodio y 1L de agua, se utilizó una batidora manual para disolver por completo la solución, se dejó reposar por 12h; al mismo tiempo se preparó una solución con 300 mL de agua simple y 3g de lactato de calcio, se colocó en moldes esféricos (50 ml c/u) y se llevó a congelación por 12h. Posteriormente se retiraron las esferas del congelador, una por una se retiraron los excesos con un cuchillo y se sumergieron en la solución de alginato de sodio, una vez que el hielo se derritió por completo (1 hora aprox.), las esferas resultantes se retiraron de la solución y se enjuagaron en un recipiente con agua destilada; posteriormente se colocaron en cajas de Petri y se etiquetaron para las pruebas posteriores. Para el tratamiento 2 se agregó glicerol al 1% a la mezcla de la solución de lactato de calcio y agua simple.

Posteriormente se elaboró el tratamiento 3, para ello se colocó en un recipiente de 1L de agua, se añadieron poco a poco 15g de alginato de sodio, se utilizó una batidora manual para la completa disolución de la solución y se dejó reposar por 12 horas; a su vez se preparó una solución con 300 mL de una bebida isotónica a la cual se le agregaron 4.5 gramos de lactato de calcio, una vez disuelto por completo se colocó en los moldes esféricos (50 mL c/u) y se llevaron a congelación por 12 horas. Una vez que paso el tiempo de congelación, se retiraron las esferas del congelador una por una, se les retiraron los excesos con ayuda de un cuchillo, se agregaron a la solución de alginato de sodio esperando a que el hielo se derritiera (1 hora aproximadamente), las esferas resultantes se retiraron de la solución y posteriormente se enjuagaron con agua destilada para retirar el exceso de alginato, se colocaron en cajas Petri etiquetadas previamente para su fácil reconocimiento y se realizaron las pruebas posteriores.

Finalmente, para el tratamiento 4 se añadió glicerol al 0.5% a la solución de lactato de calcio y la bebida isotónica.

6.2.1.3 Prueba de resistencia y elasticidad

El texturómetro utilizado fue un TA.XTPlus Connect para llevar a cabo las mediciones de las propiedades mecánicas de las diferentes esferas.

- A. Resistencia: Fuerza máxima necesaria para que se rompa la esfera
- B. Elongación o elasticidad: Distancia de estiramiento (mm) de la esfera hasta antes de romperse.

Cada esfera se colocó sobre una caja Petri y se utilizó una punta cónica de 0.4 cm de diámetro, a una velocidad de 1mm/s y recorrió una distancia de 12 mm. En cada esfera se tomó una medición y se utilizaron 3 esferas de cada tratamiento, basándose en la metodología descrita por Ruiz (2009) con modificaciones.

6.2.1.4 Prueba de vida útil

Las esferas fueron almacenadas a dos temperaturas diferentes. La mitad a T ambiente (22+ 1°C) y la otra mitad en refrigeración (4°C), se monitorearon diariamente los cambios de peso de 3 esferas de cada tratamiento, en un lapso de 5 días siguiendo la metodología establecida por Aguirre (2016) con modificaciones.

6.2.1.5 Prueba de termoestabilidad

Para medir la termoestabilidad de las esferas, se usaron 3 esferas de cada formulación y se sometieron a condiciones de temperatura de 20°C, 30°C y 40°C. Se monitoreó el peso de las esferas en un periodo de 6 horas, midiendo el peso que perdían en 0, 3 y 6 horas. Por último, se realizó una medición a las 24 horas. Utilizando como base la metodología descrita por Barrios (2018) con modificaciones.

6.2.1.6 Prueba sensorial

Se realizó una prueba sensorial con un panel no entrenado de 20 personas de un rango de edad de entre 14 y 51 años, para conocer el nivel de agrado a través de una escala de 9 puntos desde (1) Me disgusta muchísimo hasta (9) Me gusta muchísimo. Las variables evaluadas fueron: olor, color, sabor y textura.

Los participantes en la prueba fueron deportistas que se encontraban en el Parque Ambiental Bicentenario ubicado en el municipio de Metepec.

Todos los participantes evaluaron una esfera de cada tratamiento. A cada tratamiento se le asignó una clave de forma aleatoria de acuerdo con la tabla 3.

Tabla 3. Clave de identificación de los tratamientos

Clave	Tratamiento	Formulación
EAS	1	Alginato de sodio Lactato de calcio Agua simple
EASG	2	Alginato de sodio Lactato de calcio Agua simple Glicerol
EBI	3	Alginato de sodio Lactato de calcio Bebida isotónica
EBIG	4	Alginato de sodio Lactato de calcio Bebida isotónica Glicerol

Antes de iniciar la prueba se dieron indicaciones a los participantes y se les entregó la boleta de la prueba hedónica mostrada en la figura 6.

Los participantes colocaron en la boleta una calificación numérica a cada atributo evaluado de acuerdo con su nivel de agrado.

PRUEBA SENSORIAL

Edad: _____ Genero: _____ Fecha: _____

Instrucciones:
Se le presentaran 2 muestras de esferas. Por favor observe cada una. Indique el grado en el que le gusta o disgusta cada una de las variables evaluadas de las muestras, de acuerdo al puntaje y la categoría escriba el numero correspondiente en cada línea de la muestra

Puntaje	Categoría
1	Me disgusta muchísimo
2	Me disgusta bastante
3	Me disgusta moderadamente
4	Me disgusta levemente
5	No me gusta ni me disgusta
6	Me gusta levemente
7	Me gusta moderadamente
8	Me gusta bastante
9	Me gusta muchísimo

Codigo	Color	Olor	Sabor	Textura
EAS				
EASG				
EBI				
EBIG				

Figura 6. Boleta prueba hedónica de 9 punto para medir las características de las esferas con agua simple y bebida isotónica con y sin glicerol (Núñez, 2022)

6.2.1.7 Análisis estadístico

Todas las pruebas se llevaron a cabo por triplicado. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias usando una Prueba de Tukey con un nivel de $p < 0.05$. Los resultados se analizaron utilizando el software SPSS.


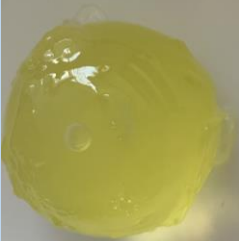
7 Resultados y Discusión

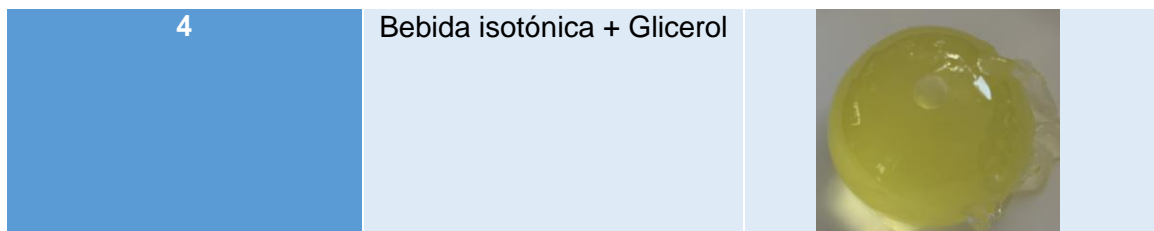
7.1 Elaboración de esferas de alginato encapsulando agua y una bebida isotónica

La formulación es de suma importancia en la elaboración de esferas de alginato. De esta manera, los ingredientes utilizados, así como la proporción de estos van a definir las características de las esferas. En este trabajo se utilizó la técnica de esferificación inversa que consiste en agregar gota a gota un alimento líquido y sal de calcio en un recipiente con agua y alginato de sodio dando como resultado la formación de esferas líquidas en el interior y sólidas en la superficie (Aguirre, 2016).

Se elaboraron 4 formulaciones, en donde el alginato de sodio y el lactato de calcio se mantuvieron constantes y las variables fueron el líquido a encapsular (agua y una bebida isotónica) y la adición o no de glicerol. En la tabla 4 se muestran las esferas obtenidas.

Tabla 4. Esferas de cada formulación

Formulación	Variable	Esferas
1	Agua	
2	Agua + Glicerol	
3	Bebida isotónica	



Se observó que en las esferas donde se encapsuló agua simple, se obtuvieron formas esféricas, sin presencia de color y de apariencia impecable, para el caso de las esferas donde se encapsuló la bebida isotónica también se obtuvieron formas esféricas, pero ahora con el color correspondiente a la bebida encapsulada y con una membrana más resistente; por otra parte, en las esferas obtenidas del tratamiento de agua + glicerol, se observó una morfología menos esférica y con pequeñas protuberancias pero manteniendo el color transparente, por último, en el tratamiento de bebida isotónica + glicerol las esferas presentaron pequeñas protuberancias y fueron menos esféricas en comparación con las esferas en las que no se agregó glicerol, en cuanto al color, presentaron el apropiado del sabor de la bebida. En la literatura se ha descrito la forma en la que actúa el alginato de sodio en la formación de recubrimientos comestibles, como es el caso de Burey *et al.*, (2008) en donde menciona que el alginato de sodio forma un complejo con el calcio, dando como resultado una pared semirrígida constituida a base de enlaces químicos, creando puentes entre iones de calcio y los grupos carboxilo del alginato, la adición de glicerol en los tratamientos tuvo influencia en la forma de las esferas que se obtuvieron, ya que de acuerdo con León (2018) la molécula de glicerol es de cadena pequeña e higroscópica, por lo tanto encaja fácilmente en las cadenas del biopolímero, atrayendo más agua a la estructura del recubrimiento, haciéndola más flexible y por lo tanto más deformable.

7.2 Elasticidad y resistencia

La elasticidad de los recubrimientos se refiere a la distancia (mm) a la que se pueden estirar antes de romperse (Ruiz, 2009).

En la Tabla 5 se observan los tratamientos y los tiempos de almacenamiento en que cada uno fue evaluado (24 y 72 horas).

Comparando los valores promedio de la elasticidad para las 4 formulaciones, se encontró que, si hay diferencias significativas entre los tratamientos 1, 2 y 4 en sus mediciones a 24 y 72 horas.

Los recubrimientos a los que se les añadió glicerol presentaron valores ligeramente mayores de elasticidad a las 24h después de ser elaborados en comparación con los recubrimientos que no fueron adicionados con este plastificante, esto puede ser debido a las interacciones de interposición entre los polímeros, coincidiendo con lo redactado por Chiumarelli y Hubinger (2014) quienes mencionan que el aumento en la elongación o elasticidad de un recubrimiento conteniendo un plastificante (glicerol) está relacionado con los cambios estructurales en la red de biopolímeros, debido a que la matriz se vuelve menos densa y, bajo tensión, se facilitan los movimientos de sus cadenas. Por otro lado, en las mediciones obtenidas a las 72h se observó que la elasticidad era mayor en las esferas sin glicerol en comparación con las esferas que contenían glicerol, esto puede deberse a que el glicerol hace que el producto final incremente su permeabilidad al vapor de agua, debido a su naturaleza hidrofílica que facilita la formación de puentes de hidrógeno con las moléculas de agua, y al aumentar la permeabilidad las esferas tienden a liberar el líquido encapsulado con mayor velocidad y como consecuencia se afecta su elasticidad (Alves *et al.*, 2007).

Tabla 5. Valor promedio para la medición de la elasticidad de los recubrimientos de las esferas

Distancia (mm)		
Horas	24	72
Agua simple	10.82 ±0.88c	11.41 ±1.04b
Agua simple + glicerol	11.88 ±0.88b	10.78 ±1.04c
Bebida isotónica	12.37 ±0.88a	13.12 ±1.04a
Bebida isotónica + glicerol	12.89 ±0.88a	11.07 ±1.04b

Letras diferentes en columnas indican diferencia significativa. Los valores presentados son el promedio ± desviación estándar con n=3 y una p≤0.5

La resistencia o fuerza de rompimiento se define como la fuerza necesaria para romper el recubrimiento (Ruiz, 2009).

En la Tabla 6, se puede apreciar el comportamiento de la fuerza de rompimiento (resistencia) con respecto a los tratamientos adicionados con glicerol y los tratamientos que no contienen glicerol después de 24h de ser elaborados. Se puede observar un aumento en la fuerza de rompimiento en los tratamientos 2 y 4, por otro lado, en los tratamientos 1 y 3 la fuerza fue ligeramente menor. En las mediciones obtenidas 72h después de ser elaborados los recubrimientos encontramos que los tratamientos 2 y 4 (con glicerol) presentaron un aumento de la resistencia mientras que los tratamientos 1 y 3 (sin glicerol) disminuyeron. De acuerdo con Díaz (2021) existe una relación estrecha entre la resistencia y el grosor; es decir cuanto más grueso sea un recubrimiento más fuerza se empleará para romperlo; esto coincide con los resultados encontrados en esta investigación en donde los recubrimientos menos esféricos (con glicerol) tienden a aumentar su grosor pasando cierto número de horas ya que en reposo las esferas se amoldan al recipiente donde son colocadas. Por lo tanto, podemos decir que la adición de glicerol aumenta la resistencia del recubrimiento en el tiempo mientras que la ausencia de este, la disminuye, esto es debido a que el glicerol aumenta el volumen libre o la movilidad molecular de los polímeros, reduciendo los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros y aumenta el espacio intermolecular (Solano *et al.*, 2020).

Tabla 6. Valores promedio para la resistencia de los recubrimientos de las esferas de alginato

Fuerza (g)		
Horas	24	72
Agua simple	40.16±20.64d	32.03±28.81d
Agua simple + glicerol	64.06±20.64c	96.50±28.81a
Bebida isotónica	80.55±20.64a	72.9±28.81c
Bebida isotónica + glicerol	86.20±20.64b	89.16±28.81b

Letras diferentes en columnas indican diferencia significativa. Los valores expresados como el promedio ± desviación estándar n=3.

7.3 Vida Útil

De acuerdo con Aguirre (2016) la vida útil de un recubrimiento se define como el tiempo en que un alimento elaborado mantiene su inocuidad total y la calidad aceptable para su consumo.

La vida útil de las esferas se calculó mediante la medición de la pérdida de peso, expresada en forma de porcentaje por la reducción de peso al paso de los días frente al peso inicial del producto.

Se realizó la primera prueba, almacenando a temperatura ambiente y posteriormente la siguiente prueba fue en refrigeración. En las tablas 7 y 8 se muestran los resultados que se obtuvieron de las pérdidas de peso durante almacenamiento a temperatura ambiente (22°C) y en refrigeración (3°C).

De acuerdo con Castañon (2020) la vida útil de este tipo de recubrimientos se considera aún aceptable cuando hay una pérdida de peso menor al 35%, debido a que aún no hay cambios en la apariencia de las esferas.

Tabla 7. Análisis de vida útil a temperatura ambiente

Vida Útil Temperatura Ambiente (22°C)					
Tratamiento/Días	0	1	2	3	4
1	0a	24.05±5.29a	30.05±6.9a	41.20±7.5b	47.73±6.9b
2	0a	11.65±5.29c	22.99±6.9b	50.16±7.5ab	56.56±6.9ab
3	0a	18.30±5.29b	27.40±6.9ab	47.73±7.5b	54.90±6.9ab
4	0a	21.10±5.29ab	29.96±6.9a	59.43±7.5a	64.76±6.9a

Letras diferentes en columnas indican diferencia significativa. Los valores expresados como el promedio ± desviación estándar n=3.

Tabla 8. Análisis de vida útil a temperatura de refrigeración

Vida Útil en Refrigeración 3°C					
Tratamiento/Días	0	1	2	3	4
1	0a	15.4±2.07b	21.4±2.5b	27.5±1.8b	35.43±4.4b
2	0a	17.3±2.07ab	24.26±2.5ab	30.1±1.8ab	44.2±4.4a
3	0a	20.1±2.07a	26.6±2.5a	30.8±1.8a	45.1±4.4a
4	0a	19.13±2.07ab	26.9±2.5a	31.8±1.8a	39.9±4.4ab

Letras diferentes en columnas indican diferencia significativa. Los valores expresados como el promedio ± desviación estándar n=3.

En las pruebas a temperatura ambiente se observó que en todos los tratamientos, en el día 1 de evaluación, se obtuvieron pérdidas entre el 11 y 24% en los diferentes tratamientos, con base en lo reportado por Castañón (2020) todos los valores se encuentran dentro de los valores aceptados de vida útil, para el segundo día todos los tratamientos presentaron pérdidas entre el 22 y 30%, sin embargo, para el tercer día todos los tratamientos presentan valores mayores al 40%, por lo tanto se considera que a partir de este día los recubrimientos han perdido su vida útil. Se continuó con la evaluación de pérdida de peso durante 1 día más para conocer la velocidad de pérdida de peso y se encontró que la velocidad de pérdida es menor.

Por otro lado, en las pruebas realizadas a temperatura de refrigeración se observó que en los tratamientos la pérdida de peso el primer día fue entre 15 y 20%, al segundo día se presentó una pérdida entre el 21 y 26% donde los valores aún se encuentran en el rango aceptado de vida útil, para el tercer día los tratamientos perdieron entre 27 y 31% de su peso, y para el cuarto día los 4 tratamientos se consideraron no aptos para consumo, perdiendo su vida útil. Estos resultados pueden deberse a que de acuerdo con León (2018) una propiedad importante en los recubrimientos es su función contra la humedad, dicha propiedad es llamada permeabilidad al vapor de agua. La permeabilidad al vapor de agua

es un fenómeno de difusión, en la cual el vapor de agua atraviesa una unidad de superficie y cuya transmisión es provocada por la diferencia de presión existente entre ambos lados del material, bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad (Zhong y Xia, 2008).

La permeabilidad de un recubrimiento varía en función del biopolímero, los recubrimientos elaborados a base de compuestos de naturaleza hidrófoba son eficaces retardando intercambios de humedad. Sin embargo, los recubrimientos de hidrocoloides solubles en agua se comportan pobres como barrera frente al paso de vapor de agua, ya que son hidrofílicos y solubles en agua, por lo tanto, permiten su paso (Marzo, 2010). Por lo que los resultados obtenidos en este experimento coinciden con lo mencionado anteriormente; y la elaboración de recubrimientos con estos materiales aumentan la movilidad de las cadenas poliméricas y conduce a que los procesos de difusión de las moléculas sean más rápidos.

Durante la evaluación de pérdida de peso se llevaron a cabo evaluaciones visuales en cuanto al color y olor, en donde se pudo observar que en los tratamientos a temperatura ambiente el olor permaneció constante a lo largo de los primeros 3 días y el color se vio afectado a partir del tercer día, en los 4 tratamientos el color de las esferas se tornó opaco. Los resultados coinciden con lo reportado por Aguirre (2016) en donde menciona que los cambios que presentan los recubrimientos comestibles son causados por la cinética de reacción de las esferas mantenidas a temperatura ambiente, en un medio semipermeable de alta humedad. La velocidad de una reacción aumenta cuando se eleva la temperatura, puesto que se provocan más choques efectivos entre las moléculas reaccionantes como consecuencia del incremento de la energía de las moléculas (Angurell *et al.*, 2014).

En los tratamientos expuestos a refrigeración el olor permaneció constante a lo largo de los 5 días de evaluación y el color comenzó a verse desvanecido a partir del quinto día; esto se debe a que la temperatura de refrigeración (3°C) se basa en la reducción de la temperatura, ayuda a inhibir las reacciones químicas o enzimáticas responsables del deterioro de bebidas y alimentos para conseguir que la proliferación microbiana sea más lenta (COFRICO, 2019).

7.4 Termoestabilidad

La termoestabilidad determina los cambios de peso del recubrimiento con el incremento de la temperatura. La prueba de termoestabilidad permite conocer la resistencia del material del recubrimiento con la determinación de pérdida de peso en función de la temperatura y el tiempo, en la cual los recubrimientos son expuestos a un incremento controlado de temperatura (Espitia *et al.*, 2014).

Se evaluaron 3 temperaturas: 22, 36 y 48°C. La pérdida de peso calculada en porcentaje se midió a las 3, 6 y 24hrs para cada temperatura.

Tabla 9. Datos de termoestabilidad de las esferas a 22°C

Tratamiento/Días	0 Hrs	3 hrs	6 hrs	24 hrs
1	0a	10.1±3.53a	17.1±5.54a	24.05±5.29a
2	0a	2.15±3.53b	4.05±5.54b	11.65±5.29c
3	0a	3.16±3.53b	7.43±5.54b	18.30±5.29b
4	0a	4.8±3.53b	10.43±5.54ab	21.10±5.29ab

Letras diferentes en columnas indican diferencia significativa. Los valores expresados como el promedio ± desviación estándar n=3.

En la tabla 9 donde las esferas se mantuvieron a 22°C a las 3h los 4 tratamientos están por debajo de 10% de pérdida de peso, siendo los tratamientos 2, 3 y 4 los que presentan menor pérdida (2.15 y 3.16 y 4.8% respectivamente). A las 6h los 4 tratamientos presentan menos del 17% de pérdida de peso. A las 24h todos los tratamientos presentan menos del 24% de pérdida de peso. Con base en los resultados obtenidos podemos decir que todos los tratamientos son estables a 22°C después de 24h de ser elaborados, lo cual coincide con lo reportado por Saldívar (2022) quien menciona que las esferas son menos susceptibles a la pérdida de peso a dicha temperatura.

Tabla 10. Datos de termoestabilidad de las esferas a 36°C

Tratamiento/Días	0 Hrs	3 hrs	6 hrs	24 hrs
1	0a	9.65±2.14a	20.5±3.53a	34.7±9.25c
2	0a	7.75±2.14a	17.45±3.53a	49.45±9.25ab
3	0a	11.13±2.14a	19.00±3.53a	43.10±9.25bc
4	0a	12.80±2.14a	25.60±3.53a	56.43.8±9.25a

Letras diferentes en columnas indican diferencia significativa. Los valores expresados como el promedio \pm desviación estándar n=3.

En la tabla 10 en donde se mantuvieron las esferas a temperatura de 36°C a las 3h los 4 tratamientos están debajo del 13% de pérdida de peso en donde el tratamiento 1 y 2 presentan menor pérdida (9.6 y 7.75% respectivamente). A las 6h los 4 tratamientos presentan menos de 25% de pérdida de peso. En la última medición a las 24h el tratamiento 1 tiene 34.7% de pérdida mientras que los tratamientos 2, 3 y 4 tienen una pérdida de peso mayor al 43%. Considerando que la vida útil de las esferas termina cuando hay una pérdida por arriba del 35% podemos decir que los 4 tratamientos a 36°C no son aptos para consumo después de 24h de ser elaborados.

Tabla 11. Datos de termoestabilidad de las esferas a 48°C

Tratamiento/Días	0 Hrs	3 hrs	6 hrs	24 hrs
1	0a	20.00 \pm 4.2a	27.05 \pm 7.05ab	63.55 \pm 8.6b
2	0a	10.15 \pm 4.2b	21.00 \pm 7.05b	78.15 \pm 8.6a
3	0a	14.46 \pm 4.2ab	27.635 \pm 7.05ab	58.16 \pm 8.6b
4	0a	17.26 \pm 4.2ab	38.00 \pm 7.05a	63.13 \pm 8.6b

Letras diferentes en columnas indican diferencia significativa. Los valores expresados como el promedio \pm desviación estándar n=3.

En la tabla 11 las esferas mantenidas a 48°C después de 3h en los 4 tratamientos presentaron una pérdida de peso menor al 20%. A las 6h los tratamientos 1, 2 y 3 presentaron menos del 27% de pérdida mientras que el tratamiento 4 perdió 38% de su peso, por lo que de acuerdo con Castañón (2020) ha terminado su vida útil. A las 24h todos los tratamientos perdieron más del 58%. Por lo tanto, podemos decir que las esferas a 48°C no son estables después de 24h de ser elaborados.

Los resultados obtenidos pueden deberse a que de acuerdo con lo redactado por Basiak *et al.*, (2018) el agua y el glicerol son sustancias de bajo peso molecular y al ser expuestos a altas temperaturas se pierden los enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo del agua y el glicerol y con una temperatura alta ocurre la descomposición de los polímeros.

7.5 Análisis Sensorial

De acuerdo con González *et al.*, (2014) se puede definir un análisis sensorial como una identificación, medida científica, análisis e interpretación de respuestas a diferentes productos que son percibidas a través de los sentidos de la vista, el gusto, el olfato y el tacto.

La prueba sensorial permitió conocer el grado de aceptabilidad del panel que evaluó las 4 muestras que les fueron proporcionadas.

Se evaluaron olor, sabor, color y textura en una escala de 1 a 9 donde 1 es “me disgusta muchísimo” y 9 “me gusta muchísimo”. Los resultados son reportados en forma de gráficas radiales en las figuras 7, 8, 9 y 10.

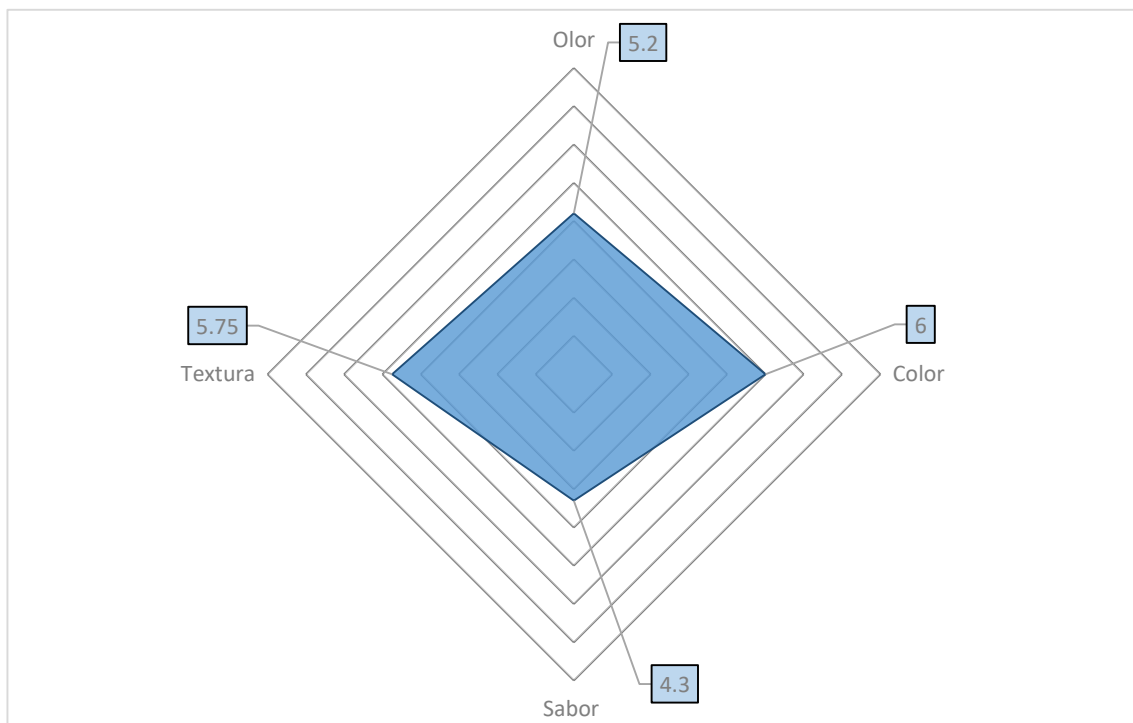


Figura 7. Perfil sensorial de prueba hedónica de esferas de alginato que contienen agua simple (EAS)

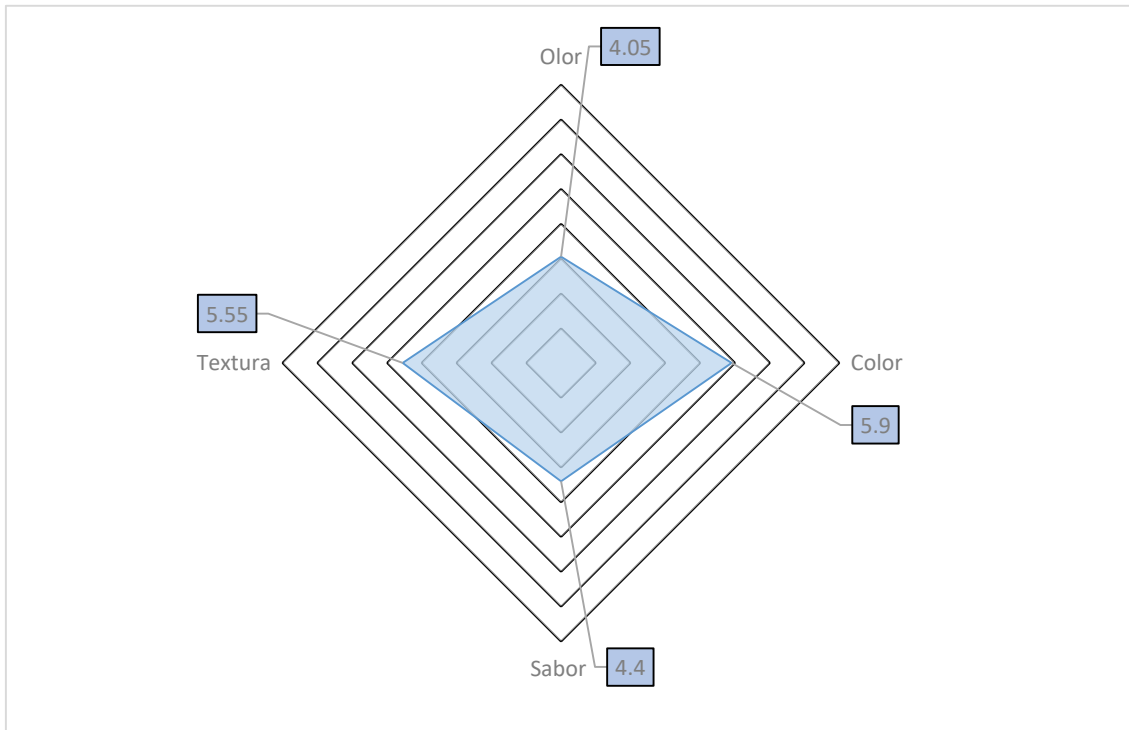


Figura 8. Perfil sensorial de prueba hedónica de esferas de alginato que contienen agua simple y glicerol (EASG)

En la figura 7 se muestran los resultados del análisis sensorial del tratamiento EAS, donde se puede observar que el atributo con mejor calificación fue el color (6), seguido por la textura (5.75), olor (5.2) y por último la calificación más baja fue para el sabor (4.3).

En la figura 8 en los resultados obtenidos para el tratamiento EASG, se observa que el atributo de color fue el que obtuvo mejor calificación (5.9), seguido de textura (5.55), sabor (4.4) y al final el olor (4.05). En estas dos formulaciones (EAS y EASG) la adición de glicerol tuvo un efecto desfavorable en cuanto al olor, de acuerdo con los panelistas el olor del glicerol no es del todo agradable, sin embargo, si es aceptable.

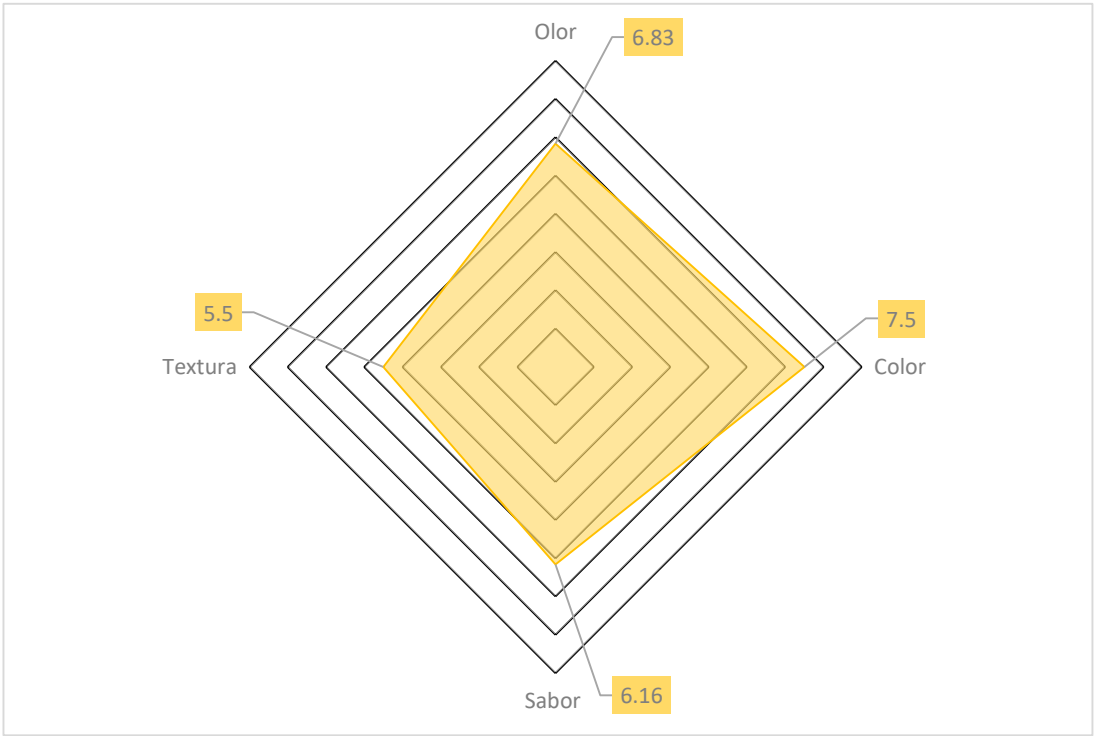


Figura 9. Perfil sensorial de prueba hedónica de esferas de alginato que contienen una bebida isotónica (EBI)

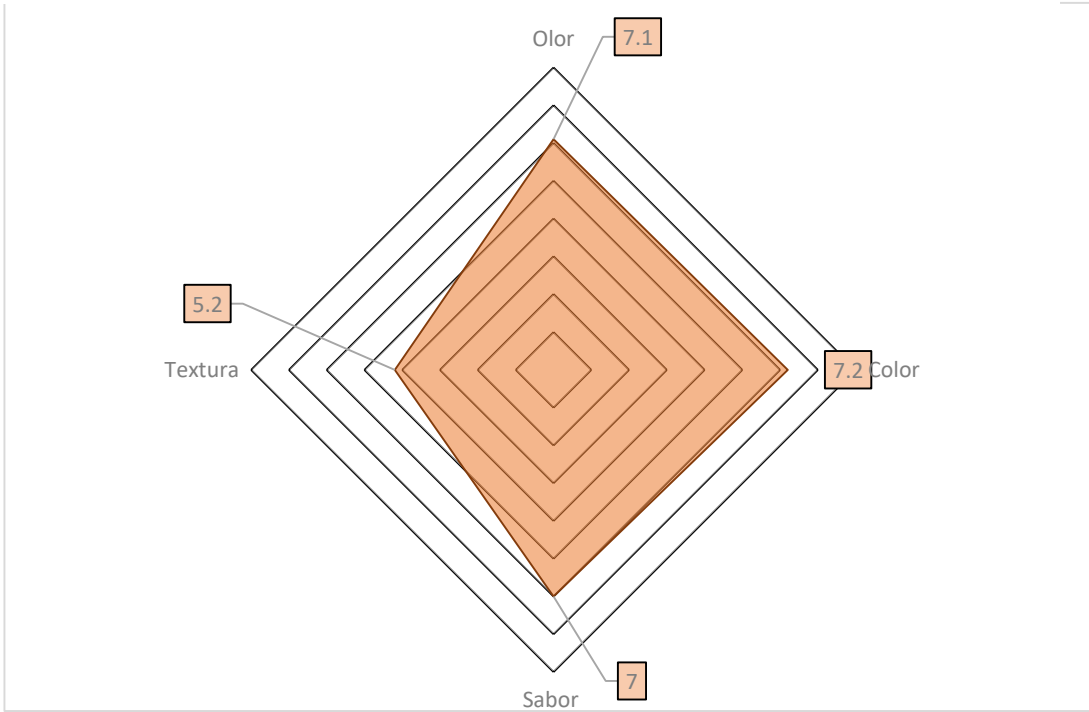


Figura 10. Perfil sensorial de prueba hedónica de esferas de alginato que contienen una bebida isotónica y glicerol (EBIG)

En la figura 9 se presentan los resultados del análisis sensorial para el tratamiento EBI, donde se puede apreciar que el atributo que obtuvo una calificación más alta fue el color (7.5) seguido del olor (6.83), el sabor (6.16), siendo el más bajo la textura (5.5).

Por último, en la figura 10 se muestra que el atributo de color obtuvo una mejor calificación (7.2), seguido del olor (7.1), sabor (7) y la textura fue el atributo que obtuvo menor calificación (5.2).

En relación con el olor y sabor se encontró que las esferas que contienen agua simple tuvieron menor nivel de aceptación en comparación con las que contienen la bebida isotónica. Esto puede deberse a que la bebida isotónica al ser una bebida comercial contiene colorantes y saborizantes que ayudan a enmascarar los sabores del alginato de sodio y el lactato de calcio. Además, la adición de glicerol en los recubrimientos comestibles no presentó diferencias significativas en cuanto al tipo de bebida utilizado a pesar de que algunos de los participantes mencionaban que las esferas dejaban un ligero sabor aceitoso. Estos atributos son importantes ya que de acuerdo con Rosales (2013) el sabor y olor son atributos sensoriales determinantes en la selección de un alimento por parte de los consumidores.

Por otro lado, de acuerdo con Venturi (2018) el sabor de un alimento no está determinado únicamente por sensaciones químicas detectadas por el gusto en la lengua, sino que la textura tiene influencia en la percepción del sabor. En este sentido, la textura de las 2 formulaciones (EBI y EBIG) fue el atributo con menor calificación, sin embargo, sus valores son aceptables (>5).

El color fue el atributo mejor evaluado en todas las formulaciones, en el caso de las esferas que contenían agua simple tuvieron valores alrededor de 6 y en el caso de las esferas que contenían bebidas isotónicas fue mayor a 7.

Finalmente, se encontró que las esferas que contenían la bebida isotónica fueron mejor evaluadas en comparación con las que contenían agua simple. Sin embargo, cabe mencionar que las esferas de los tratamientos EAS y EASG no fueron totalmente rechazadas ya que como fue mencionado anteriormente y como se observa en las figuras 7 y 8 la mayoría de las calificaciones se ubican entre 5 y 6 y estos valores en la escala de prueba hedónica corresponden a “no me gusta ni me disgusta” y “me gusta levemente”.

8 Conclusiones

Las esferas que contenían glicerol presentaron mayor elasticidad en las primeras horas después de ser elaboradas y posteriormente presentaron una disminución.

En todas las formulaciones se encontró que a mayor elasticidad se obtuvo menor resistencia a la ruptura independientemente de la bebida encapsulada.

En cuanto a la vida útil, las esferas mantenidas en temperatura de refrigeración se conservan un tiempo más prolongado ya que la pérdida de peso se da más lentamente.

Las esferas de los 4 tratamientos no resultan estables al ser expuestas a altas temperaturas.

La prueba hedónica se vio afectada respecto al tipo de bebida encapsulada, ya que en los tratamientos en donde se encapsuló bebida isotónica se obtuvo una aceptación mayor que en las esferas donde se encapsuló agua simple. Con base en la prueba hedónica, las esferas que obtuvieron valores más altos de aceptación fueron del tratamiento EBIG, el cual contenía bebida isotónica y glicerol.

A pesar de que la bebida isotónica tiene un pH ácido, es posible utilizar la esferificación inversa para la realización de un recubrimiento comestible.

9 Perspectivas

- Estandarizar condiciones de preparación de los recubrimientos para incrementar la predominancia de la forma esférica en las esferas.
- Mejorar la textura de esferas que encapsulan una bebida isotónica, realizando cambios en la formulación y aumentar los tiempos de reposo en la solución de alginato de sodio.
- Emplear diferentes plastificantes como el polietilenglicol o sorbitol, para mejorar las propiedades de los recubrimientos.
- Probar una bebida isotónica no comercial, para tener control de los aditivos que sean añadidos y así optimizar su encapsulación.

10 Bibliografía

- Aguirre, A. (2016). Esterificación 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 [Tesis de grado]. Universidad Rafael Landívar.
- Aguilar, M., Martínez S., Espinoza, N., Sánchez, M., Cruz, A., y Ramírez, M. (2012) Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba. *Superficies y Vacío* 25(1):1-7.
- Aguilera, N., Zapata, I. (2018) Bebidas energéticas e isotónicas. Composición nutricional de las bebidas energéticas e isotónicas. Organización de consumidores y usuarios de Chile, 35p.
- Agulhon, P., Robitzer, M., Habas, J. y Quignard, F. (2014). Influence of both cation and alginate nature on the rheological behavior of transition metal alginate gels. *Carbohydrate Polymers*, 112, 525–531.
- Aiello, G., Beraldi, A., Filipic, M., y Sotelo, L. (2020) Producción de polímero biodegradable a partir de almidón modificado, glicerina y lignina. Proyecto final. Universidad Tecnológica Nacional. 635.
- Alves, V., Mali, S., Beléia, A., y Grossmann, M. (2007) Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch films properties. *Journal of Food Engineering*. 78 (1), p.941-946.
- Angurell, I., Casamitjana, N., Caubet, A., Dinarés, I., Llor, N., Muñoz, D., Nicolás, E., Pérez, M., Dolores, M., Rosell, G., Seco, M., y Velasco, D. (2014) Temas y operaciones avanzadas en el laboratorio químico. Grupo de Innovación Docente en operativa de laboratorios Químicos. Proyecto 2008PID-UB/118. <https://www.ub.edu/talq/es/node/266>.
- Arvizu, H., Hernández, C., y Rodríguez, E. (2002). Parámetros que afectan la conversión de ácido algínico en alginato de sodio. *Ciencias Marinas*. 28(1): 27-36.

- Avendaño-Romero, G., López, A., y Palou, E. (2013) Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*. 7(1), 87-96.zvi
- Baldassa, E., Dealbera, G., e Intra, S. (2022) Obtención de glicerina USP. Proyecto final. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María. *Ingeniería Química*. pp265
- Baker L. (2017) Sweating Rate and Sweat Sodium Concentration in Athletes: A Review of Methodology and Intra/Interindividual Variability. *Sports Med*.Vol.47. 111-128.
- Barrios, F. (2018). Estudios de encapsulación de polifenoles del té: propiedades y estabilidad. Valladolid, España: Trabajo de fin de grado.
- Basiak, E., Lenart, A., y Debeaufort, F., (2018) How glycerol and Water contents affect the structural and functional properties of starch-based edible films. Department of Food Engineering and process management. Faculty of food 10(4), 412.
- Bhargava, N. Sharanagat, V., Mor, R. y Kumar, K. (2020). Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: a review. Elsevier, volume 105, pp 385-401.
- Burey, P., Bhandari, B., Howes, T., and Gidley, M. (2008). Hydrocolloid gel particles: formation, characterization, and application. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 48, 361-377.
- Buteler, M. (2019) ¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos? El problema del plástico. Vol.16, No.8, 56-60.
- Callegarin, F., Gallo, J., Debeaufort, F., y Voilley, A. (1997). Lipids and biopackaging. *J. American Oil Chem. Soc.* 74, 1183–1192.
- Castañon, J., Soto, M., Uresti, R. (2020). Evaluación de la estabilidad de cápsulas de jugo de naranja obtenidas mediante gelificación iónica. *Biotecnología y ciencias agropecuarias*, vol. 14 no.2, 117-132.
- CCB. (2017). La importancia del empaque en la elección del producto. Cámara de comercio de Bogotá. <https://www.ccb.org.co/Sala-de-prensa/Noticias-sector->

agricola-y-agroindustrial/Noticias-2017/La-importancia-del-empaque-en-laeleccion-del-producto.

- Cherian, G., Gennadios, A., Weller, C., Chinachoti. (1995) Thermomechanical Behavior of Wheat Gluten Films: Effect of Sucrose, Glycerin, and Sorbitol. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications*. University of Nebraska. 103.
- Chiumarelli, M. y Hubinger, M. (2014) Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. *Food Hydrocolloids*. Vol. 38. 20-27.
- COFRICO (Marzo, 2019) La importancia de la refrigeración en la industria alimentaria. Enertic. <https://enertic.org/la-importancia-de-la-refrigeracion-en-la-industria-alimentaria/>
- De Ancos, B., González, D., Colina, C., y Sánchez, C. (2015). Uso De Películas/Recubrimientos Comestibles En Los Productos De IV Y V Gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8–17.
- Debeaufort, F., Quezada, J. A., y Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Critical Reviews in Food Science*, 38(4), 299-313.
- Del-Valle, V., Hernández, P, Guarda, A., Galotto, M. (2005). Development of a cactus- mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food chemistry*, 91(4).
- Demuner, M., y Guzmán, I. (2004). Envases, empaques y embalajes alimentarios. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana*, vol.17 no.2. Sitio web: [\ https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol17num2/articulos/clima/index.htm](https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol17num2/articulos/clima/index.htm).
- Dhall, R. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>.
- Dhanapal, A., Rajamani, L., y Banu, M. (2012). Edible films from Polysaccharides. *Food Science and Quality*, 3(1), 9–18.
- Díaz, A. (2021) Elaboración y caracterización fisicomecánica de una película biodegradable utilizando harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) Proyecto especial de graduación.

- Domínguez, M, y Jiménez, M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 6:110-121.
- Draget, K. (2000). *Handbook of hydrocolloids*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited. Boca Raton, FL, USA: CRC Press LLC. Chapter 22: Alginates, 379-395.
- Durango, A., Soare, y N., Arteaga, M. (2011). Filmes y recubrimientos comestibles como envases activos biodegradables en la conservación de productos alimentarios. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* (122-128). no.1: vol.9.
- Espitia, P., Du, W., Avena, R., Soares, N. y McHugh, T. (2014) Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties a review. *Food Hydrocolloids*, 35, 287-296.
- Famá L., Flores S., Rojas A., Goyanes S., y Gerschenson L. (2004). Comportamiento mecánico dinámico de películas comestibles a bajas temperaturas: Influencia del contenido de sorbato y grado de acidez; *Revista SAM* (1) (1) (157-162).
- Farhan, A., y Hani, N. (2017). Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol. *Food hydrocolloids*, 64, 48–58.
- Fernández, V., Bautista, B., Fernández, V., Ocampo, R., García, P., Falcón, R. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: Una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 24, no.3, 52-57.
- Funami, T., Noda, S., Nakauma, M., Ishihara, S., Fang, Y., Draget, K., Nishinari, K., Phillips, G. (2009). Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and Ca²⁺ binding. *Food hydrocolloids*, vol. 23(7), 1746-1755.
- Galarza, I., Viribay, A. (2019) *Bebidas Isotónicas durante el deporte*. *Glut4 Science*. Sitio web:

<https://glut4science.com/publicaciones/de-la-ciencia-a-la-practica/bebidas-isotonicas-durante-deporte/46>

- González, A., Barrera, L. L., Ventura, R. I., Correa, Z. N., Bautista S., y Hernández, M. (2019). Postharvest Biology and Technology Extension of the postharvest quality of bell pepper by applying nanostructured coatings of chitosan with *Byrsonima crassifolia* extract Kunth. *Postharvest Biology and Technology*, 149(April 2018), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.11.019>.
- González, V., Rodeiro, C., Sanmartín, C., y Vila, S. (2014). Introducción al análisis sensorial estudio hedónico del pan en el IES Mugardo. SGAPEIO. Galicia, España.
- Hanco, M. (2017). Elaboración de un recubrimiento comestible y su comparación con recubrimiento comercial aplicado en naranja (*Citrus sinensis*) Valencia. [Tesis de grado] Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú.
- Innocenti, F. y Breton, T. (2020). Intrinsic biodegradability of plastics and ecological risk in the case of leakage. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol.8, 9239-9249.
- Jooyandeh H. (2011) Whey protein films and coatings: A review. *Pakistan Journal of Nutrition* 10(3):296-301.
- Karbowski, T., Debeaufort, F., Voilley, A. (2007). Influence of thermal process on structure and functional properties of emulsion-based edible films. *Food Hydrocolloids*. 21, 879-888.
- Kumar, N., y Dubey, R. (2020). Edible films and coatings: an update on recent advances. In ... Kaustav Majumder Kunal Pal, Indranil Banerjee (Ed.), *Biopolymer-Based Formulations* (Vol. 4, pp. 2406–2417). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816897-4.00027-8>
- León A. (2018). Desarrollo de películas comestibles a base de almidón acetilado y gelatina y su aplicación en un fruto modelo [Tesis de grado] Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Marigese, R. (2010) Propiedades de transporte del lactato de calcio en solución acuosa: efecto de la temperatura y la presencia de β -ciclodextrina. Maestría en Química. Universidad de Coímbra. Pp 60.

- Marzo, I. (2010). Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína [Tesis de licenciatura]. Pamplona. Universidad Pública de Navarra. Pp171.
- Melgarejo, C., y Ramos, B. (2016) Evaluación del efecto antimicrobiano de la nisina, natamicina y lactato de calcio en la vida útil de queso panela. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de grado.
- Navia, D. y Villada, H. (2013). Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 11, 173-180.
- Negrín, R. (2000). Agua e Hidratación su importancia en el rendimiento físico. Revista digital Buenos Aires. Año 5. No. 27.
- Núñez, I. (2022). Uso de pectina y alginato de sodio como agentes gelificantes en la elaboración de mermelada de Jamaica y evaluación de su efecto en los parámetros de calidad. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias UAEMex. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/113187?show=full>
- Othman, S. (2014) Bio-Nanocomposite Materials for Food Packaging applications: Types of biopolymers and Nano-sized filler. Agriculture and agricultural science procedia. 2. 296-303.
- Parzanese, M. (2011). Tecnologías para la Industria Alimentaria: películas y recubrimientos comestibles ficha n° 7. Alimentos Argentinos – MinAgri Pág. 11.
- Peanparkdee, M., Iwamoto, S., and Yamauchi, R. (2016). Microencapsulation: a review of applications in the food and pharmaceutical industries. Reviews in Agricultural Science. 4: 56-65.
- Petersson M., y Stading M (2005). Water vapour permeability and mechanical properties of mixed starch-monoglyceride films and effect of film forming conditions. Food Hydrocolloids 19:123-132.
- Quintanilla P. (2016). Efecto de recubrimiento a base de gelatina de colágeno durante el almacenamiento del músculo semitendinosus de res, en dos tipos de empaque. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

- Quintero, J., Falguera, V., y Muñoz, A. (2010); Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola; Revista Tumbaga, 5, 93-118.
- Rachmawati, N., Triwibowo, R., Widiyanto, R. (2015). Mechanical properties and biodegradability of acid-soluble chitosan-starch based film. Squalen Bulletin of Marine & Fisheries Postharvest & Biotechnology, 10, 1-7.
- Raghav, P. K., Agarwal, N., Saini, M., Vidhyapeeth, J., y Vidhyapeeth, J. (2016). Edible Coating of Fruits and Vegetables: *International Journal of Scientific and Modern Education*.
- Ramírez, J. (2012) Analisis sensorial: Pruebas al consumidor. Revista ReCiTeIA. Universidad del Valle. Vol.12 n .1.
- Rivera, C., Contreras, F., Ariza, W., Bonilla, S., y Cruz, A. (2019). Los empaques biodegradables, una respuesta a la consciencia ambiental de los consumidores. Realidad empresarial, vol.7, 2-8.
- Robertson G. (2008). State of the art biobased food packaging materials. En E. Chiellini (Ed.), Environmentally compatible food packaging, 3-28.
- Rosales, Y. (2013) Desarrollo de películas biodegradables con propiedades antimicrobianas como una alternativa novedosa para la conservación de jamón cocido y pechuga de pavo. Universidad de los Andes. Tesis Doctoral.
- Rosero, A., Espinoza, P., Fernández, L. (2020) Recubrimientos comestibles con materiales micro/nanoestructurados para la conservación de frutas y verduras: Una revisión. 149-178.
- Ruiz, F. (2009). Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) almacenada en refrigeración. Universidad de las Américas Puebla. Tesis de maestría.
- Saklani, P., Kumar, S., Das, S., Singh, S. (2019). A review of edible packaging for foods. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, volume 8 number 7, 2885-2895.
- Saldívar. M. (2022) Evaluación de un agente de entrecruzamiento en la elaboración de películas para alimentos a base de pectina, alginato y quitosano. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Ciudad Madero. Tamaulipas. 74p

- Sánchez., L. (2017). Bebidas Isotónicas para deportistas y su implicacion en la salud. Trabajo de fin de grado. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense. 3-7.
- Santillán, M. (2018). Una vida del plástico. Ciencia UNAM, DGDC Sitio web: [http://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico\](http://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico)
- Sapper, M., Talens, P., y Chiralt, A. (2019). Improving functional properties of cassava starch-based films by incorporating xanthan, gellan, or pullulan gums. *International Journal of Polymer Science*,(6), 1–9. <https://doi.org/10.1155/2019/5367164>
- Severiano, P. (2018) ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluacion sensorial?. *Interdisciplina* 7, nº 19. 47-68
- Sobral, P., Monterrey, E., y Habitante, A. (2002) Glass Transition Study of Nile Tilapia Myofibrillar Protein Films Plasticized by Glycerin and Water. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 67, 499.
- Solano, I., Alamilla, L., Y Jiménez, C. (2020) Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*
- Valero, M., Ortegón, Y., y Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: avances y perspectivas. *Dyna* año 80, número 181, 171-180.
- Valle, P., Extremera, A., Gallegos, A. (2011). Buenas prácticas para un desarrollo sostenible en los eventos deportivos en el medio natural. *Interciencia*, vol. 36 no. 7, 531-537.
- Valverde J. (2007). Efecto del lactato de sodio y calcio en las características fisicoquímicas y sensoriales de un producto de res listo para consumir. *El Zamorano Honduras*, pp27.
- Venturi, M. (2018). Alimentando los sentidos enziende de la ciencia, programa de cineforum científico. Universidad De Zaragoza. Zaragoza, España.
- Villada, H., Acosta, H. y Velasco, R. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas agrarios*, vol.12:(2), 5-13.
- World Wildlife Fund. (2019). Solving plastic pollution through accountability. WWF, 10-18.

- Zamudio, G. (2014). Aplicaciones de las biopelículas comestibles en la industria alimenticia. Universidad Del Valle- Cali, Valle del Cauca. Tesis de grado.
- Zhong QP, Xia WS. 2008. Physicochemical properties of edible and preservative films from chitosan/cassava starch/gelatin blend plasticized with glycerol. Food Technology and Biotechnology 46(3):262-269.
- Zhu, J., Wu, H., Sun, Q. (2019). Preparation of crosslinked active bilayer film based on chitosan and alginate for regulating ascorbate-glutathione cycle of postharvest cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). International Journal of Biological Macromolecules, 130, 584-594.