

Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de un polímero natural que permita reducir los efectos causados por los daños mecánicos en fresa tipo Albión durante la postcosecha

Aura María Cabrera Bonilla

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Bioingeniería

Bogotá

2023

Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de un polímero natural que permita reducir los efectos causados por los daños mecánicos en fresa tipo Albión durante la postcosecha

Aura María Cabrera Bonilla

Proyecto de grado

Tutor

Nidia Casas Forero

Cotutor

Diana Cristina Moncayo

Universidad El Bosque

Facultad de ingeniería

Bioingeniería

Bogotá

2023

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y personas cercanas, por su apoyo y sus palabras de ánimo durante todo este tiempo.

A mi tutora Nidia Casas Forero y cotutora Diana Cristina Moncayo por sus consejos, por su tiempo y dedicación en la realización de este proyecto. Así mismo quiero darle las gracias a Natalia Nieto y Sandy por su disposición y tiempo.

A la Universidad Nacional De Colombia por prestarme sus instalaciones para realizar las pruebas en la realización de este proyecto.



## Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	5
<i>Lista de Figuras</i> .....	7
<i>Lista de tablas</i> .....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT .....	11
1. INTRODUCCIÓN .....	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	18
4. OBJETIVOS .....	20
A. Objetivo general.....	20
B. Objetivos específicos .....	20
5. MARCO DE REFERENCIA.....	21
5.1 Marco teórico.....	21
5.1.1. Fresa .....	21
5.1.2. Características fisicoquímicas de la fresa .....	22
5.1.3. Producción de fresa en Colombia .....	22
5.1.4. Fresa tipo Albión .....	23
5.1.5. Daños mecánicos de la fresa.....	24
5.1.6. Condiciones ambientales que influyen en la calidad de la fresa .....	24
5.1.7. Proceso postcosecha de la fresa .....	25
5.1.7.1. Cosecha.....	25
5.1.7.2. Proceso de selección.....	25
5.1.7.3. Pretratamiento de la fresa .....	26
5.1.7.4. Cajas para el traslado .....	26
5.1.7.5. Transporte.....	26
5.1.8. Tratamientos para incrementar la vida útil de la fresa .....	27
5.1.9. ¿Qué son los recubrimientos comestibles? .....	27
5.1.10. Parámetros de calidad de los recubrimientos comestibles .....	28
5.1.11. Técnicas utilizadas para la elaboración de recubrimiento.....	28
5.1.12. Componentes de los recubrimientos comestibles.....	28
5.1.13. Limitaciones de los recubrimientos comestibles.....	30
5.1.14. Pruebas de caracterización aplicadas a los recubrimientos comestibles .....	30

5.1.15. Métodos de aplicación de recubrimientos comestibles.....	31
5.2. Marco legal.....	34
5.3. Estado del arte.....	35
6. REQUERIMIENTOS.....	37
6.1. Calidad .....	37
6.2. Funcional .....	37
6.3. Restricción .....	37
7. METODOLOGÍA.....	38
7.1. Fase 1. Diseño conceptual .....	39
7.2. Fase 2. Diseño detallado .....	41
7.3 Fase 3. Implementación del recubrimiento comestible .....	43
7.4 Fase 4. Evaluación del recubrimiento .....	45
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
8.1.Fase 1. Diseño Conceptual.....	48
8.2.Fase 2. Diseño detallado. ....	56
8.2.1. Condiciones de preparación planteadas en los ensayos preliminares .....	56
8.2.1.1 Condición de preparación 1 .....	57
8.2.1.2. Condición de preparación 2 .....	58
8.2.1.3. Condición de preparación 3 .....	59
8.2.2. Resultados pruebas de caracterización de los Recubrimientos Comestibles. ....	70
8.2.2.1. Apariencia visual .....	70
8.2.2.2. Resistencia a la elongación .....	71
8.2.2.3. Espesor .....	73
8.2.2.4. Prueba de color .....	75
8.3. Fase 3. Implementación del recubrimiento comestible .....	76
8.4. Fase 4 - Evaluación del recubrimiento .....	84
9. CONCLUSIONES.....	97
10. BIBLIOGRAFÍA .....	99

## Lista de Figuras

<b>Figura 7-1</b> Metodología general CDIO fase 1 y fase 2 .....	38
<b>Figura 7-2</b> Metodología general CDIO fase 3 y fase 4. ....	39
<b>Figura 8-1</b> Condición de preparación 1. ....	57
<b>Figura 8-2</b> Condición de preparación 2. ....	58
<b>Figura 8-3.</b> Condición de preparación 3. ....	59
<b>Figura 8-4</b> Comparación de películas realizadas en la preparación 15 con el autor Arévalo. ....	64
<b>Figura 8-5</b> Recubrimiento comestible listo para ser empacado en bolsa hermética. ....	67
<b>Figura 8-6</b> Comparación recubrimiento de glicerol entre el autor Vázquez et al (2019) y autoría propia (izquierda).....	68
<b>Figura 8-7</b> Comparación películas de sorbitol entre el autor Lim et al (2020) (derecha) y autoría propia (izquierda).....	69
<b>Figura 8-8.</b> Comparación de color del recubrimiento con una cartulina negra .....	71
<b>Figura 8-9.</b> Fresas seleccionadas .....	79
<b>Figura 8-10</b> Inmersión de fresas en el recubrimiento .....	79
<b>Figura 8-11</b> Fresas secándose con los 3 tratamientos.....	80
<b>Figura 8-12</b> Fresas con y sin recubrimiento empacadas para ser refrigeradas .....	80
<b>Figura 8-13</b> Fresas con y sin recubrimiento refrigeradas a 5°C.....	81
<b>Figura 8-14</b> Fresas con y sin tratamiento refrigeradas a 10°C (4, 7 y 10).....	82
<b>Figura 8-15</b> Fresas con y sin tratamiento refrigeradas a 10°C (4, 7 y 10).....	83
<b>Figura 8-16.</b> Evaluación del recubrimiento comestible.....	84
<b>Figura 8-17</b> Pérdida de peso en fresas con y sin recubrimiento almacenada a 5°C. ....	86
<b>Figura 8-18.</b> Comparación fresas con y sin recubrimiento día 2 de pruebas. ....	87
<b>Figura 8-19</b> Comparación fresas con y sin recubrimiento día 5 de pruebas.....	87
<b>Figura 8-20</b> Comparación fresas con y sin recubrimiento día 7 de pruebas.....	88
<b>Figura 8-21</b> Comparación fresas con y sin recubrimiento día 9 de pruebas.....	88
<b>Figura 8-22</b> Comparación fresas con y sin recubrimiento día 14 de pruebas.....	89
<b>Figura 8-23</b> Fuerza de penetración de fresas con y sin recubrimiento. ....	91
<b>Figura 8-24</b> Diferencia de color $\Delta E$ fresas con y sin recubrimiento. ....	93
<b>Figura 8-25.</b> Sólidos solubles totales fresas con y sin recubrimiento. ....	94
<b>Figura 8-26</b> pH en fresas con y sin recubrimiento.....	95
<b>Figura 8-27</b> Acidez titulable fresas con y sin recubrimiento. ....	96

## Lista de tablas

<b>Tabla 5-1</b> Tratamientos para incrementar la vida útil de la fresa .....	27
<b>Tabla 5-2</b> Normas en relación con el proyecto. ....	34
<b>Tabla 5-3</b> Revisión bibliográfica de recubrimientos aplicados en frutas.....	36
<b>Tabla 7-1</b> Cantidad de ácido crítico en la fresa .....	47
<b>Tabla 8-1</b> Revisión bibliográfica del tipo de polímero y plastificante que se emplean en la obtención del recubrimiento (Autoría propia). ....	48
<b>Tabla 8-2</b> Matriz de decisión del polímero.....	50
<b>Tabla 8-3</b> Matriz de decisión del plastificante.....	51
<b>Tabla 8-4</b> Revisión bibliográfica del método de aplicación de recubrimiento en fresa. ....	52
<b>Tabla 8-5</b> Matriz de decisión del método de aplicación.....	55
<b>Tabla 8-6</b> Resultados ensayos preliminares para el desarrollo del recubrimiento. ....	60
<b>Tabla 8-7</b> Diseño experimental .....	64
<b>Tabla 8-8</b> . Descripción de resultados del diseño experimental. ....	65
<b>Tabla 8-9</b> Resultados prueba tracción y elongación para los tratamientos 4, 8 y 10.....	72
<b>Tabla 8-10</b> Resultados prueba de espesor de los 3 recubrimientos escogidos.....	73
<b>Tabla 8-11</b> Resultados medición de color en recubrimiento. ....	75
<b>Tabla 8-12.</b> Variación de tiempos de aplicación recubrimiento y número de inmersiones.....	76
<b>Tabla 8-13</b> Control apariencia general de la fresa en evaluación .....	90
<b>Tabla 8-14.</b> Promedio y desviación coordenadas L, a y b para fresas con recubrimiento y sin recubrimiento.....	92

## RESUMEN

Las fresas son una fruta altamente consumida debido a sus características sensoriales especialmente por su sabor, color y valor nutricional, sin embargo, tiene una vida útil muy corta ya que presenta una alta tasa de respiración y baja resistencia al daño mecánico, además de carecer de una barrera externa que evite su pérdida de agua, ocasionando grandes pérdidas de producto durante su comercialización. Es por esto que se están aplicando estrategias tecnológicas para incrementar la vida útil de la fresa, a través de la implementación de recubrimientos comestibles que permiten proteger a la fresa de cualquier daño mecánico externo. Por tanto, el objetivo de este trabajo de grado fue desarrollar un recubrimiento comestible a base de un polímero natural que ayude a reducir los efectos causados por los daños mecánicos en la fresa tipo ventana en el proceso de postcosecha.

Para lo cual se trabajó 4 fases teniendo en cuenta la metodología CDIO: a) Diseño conceptual para definir los componentes a emplear en el desarrollo del recubrimiento comestible, b) Diseño detallado del recubrimiento con el fin de establecer las concentraciones de cada uno de los componentes, c) Implementación del recubrimiento para determinar sus condiciones de aplicación como tiempo y temperatura de aplicación, temperatura de secado y refrigeración de la fruta en condiciones de almacenamiento, y d) Operacionalización, que consistió en evaluar el efecto de la aplicación del recubrimiento en la estabilidad de la fresa durante 15 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración.

Como resultado de las 4 fases se obtuvo lo siguiente: En la fase 1 se definió como polímero el almidón de yuca ya que la cantidad de amilosa y amilopectina que presenta en su estructura ayuda a que el recubrimiento sea más fuerte y mejore sus propiedades mecánicas, además este tiene una fácil accesibilidad en el mercado. Para el plastificante se seleccionaron: el sorbitol y el glicerol, debido a que ambos tienen propiedades similares y presentan bajo peso molecular que son incorporadas dentro de la matriz polimérica para incrementar la flexibilidad, la dureza y funcionamiento, disminuyendo la formación de escamas y grietas en la superficie de las películas comestibles y por lo tanto se consideró importante evaluar su efecto al ser combinado con el almidón de yuca. En relación con el método de aplicación se seleccionó, el proceso de inmersión ya que presenta una mayor facilidad en su aplicación, además de ser un método económico y funcional. En la fase 2 se obtuvo como resultado un diseño experimental de 10 tratamientos en donde se escogieron los mejores 3, en los cuales variaba el tipo de plastificante, estos tenían una concentración general de 3% de polímero, 1% de plastificante, 0.5 % de polisorbato y 0,5 % de aceite todo en 120 ml de agua total. La elección de los tratamientos fue hecha teniendo en

cuenta la formación del recubrimiento, el secado, el color y el fácil desprendimiento del recubrimiento del molde usado sin presentar grietas. En la fase 3 se definió las condiciones apropiadas para la implementación del método de aplicación del recubrimiento comestible en la fresa las cuales se asocian con el espesor y temperatura del recubrimiento, se escogió el método de inmersión ya que este es el más empleado para el recubrimiento de alimentos demostrando una cobertura completa, homogénea y de bajo grosor en el fruto, además este método se usa generalmente en alimentos de superficie irregular como lo es la fresa en este caso.

Por último, para la fase 4 se realizó la evaluación del recubrimiento comestible, se caracterizaron fresas con recubrimiento y sin recubrimiento en condiciones de almacenamiento por 15 días. Como resultado, el recubrimiento comestible creó una barrera contra la pérdida de vapor de agua, que se manifiesta como una disminución de la pérdida de peso durante el almacenamiento, reduciéndola en un 5%. Finalmente, el recubrimiento logró la protección del color de las fresas durante el almacenamiento. Sensorialmente presentaron mayor aceptación las frutas recubiertas, principalmente en el parámetro de apariencia y brillo.

## ABSTRACT

For the development of the coating, it was divided into 4 phases taking into account the CDIO methodology: Conceptual and detailed design, implementation of the coating and operationalization. In phase 1, cassava starch was defined as polymer, allowing the coating to be stronger and improve its mechanical properties. For the plasticizer, sorbitol and glycerol were selected because both have similar properties and have low molecular weight to increase flexibility, hardness and performance, decreasing the formation of flakes and cracks on the surface of the edible films. In relation to the application method, the immersion process was selected because it is easier to apply, besides being an economical and functional method.

In phase 2, an experimental design of 10 treatments was obtained as a result, where the best 3 were chosen. In phase 3, the appropriate conditions were defined for the implementation of the edible coating application method on strawberries, which are associated with thickness and temperature. The immersion method was chosen because it is the most widely used for coating foods, demonstrating a complete, homogeneous and low-thickness coverage on the fruit; in addition, this method is generally used on foods with an irregular surface, as is the case of strawberries in this case.

Finally, for phase 4, the evaluation of the RC was carried out, characterizing coated and uncoated strawberries under storage conditions for 15 days. As a result, the RC created a barrier against the loss of water vapor, which manifested itself as a decrease in weight loss during storage, which reduced weight loss by 5%. The coatings protect the color of the fruit during storage. Sensorially, the coated fruits showed greater acceptance, mainly in the parameters of appearance and brightness.

**Keywords:** Strawberry, biopolymers, edible coating.

**Palabras clave:** Recubrimiento, plastificante, biopolímeros.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las fresas en Colombia son un cultivo que crece principalmente en la parte central del país, debido a que las condiciones climáticas y geográficas así lo permiten. En el último año, su producción se ha aumentado un 59%, siendo Cundinamarca el departamento con más producción anual con el 65% seguido de Antioquia con el 62% y Norte de Santander con el 18%. A medida que aumenta la cosecha del fruto es probable que aumenten los daños en este, por eso se han planteado estrategias como usar guantes de látex a la hora de cosechar la fresa y no llevar más de 5 kilos en las canastillas donde introducen el fruto después de cosecharlo. Esto reduce los daños mecánicos al momento de su cosecha, además el 55% de la producción de fresa del país se comercializa en fresco lo que equivale a 45 mil toneladas del fruto (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015), poder reducir los daños mecánicos que afectan a la fresa mejoraría.

La fresa es muy apetecida por el consumidor por sus características sensoriales especialmente por su sabor, color y valor nutricional, siendo una gran fuente de vitamina C, B2 y B3, pero su corta vida útil y su susceptibilidad a los daños mecánicos durante las etapas de cosecha, almacenamiento, transporte y comercialización causan afectaciones directas en la fruta. Esto se debe a que el epicarpio (piel del fruto) es muy delgado y delicado, afectando las actividades fisiológicas del fruto, causando magulladuras, cambios de color, textura y sabor y la pérdida de peso, reduciendo su vida útil (Khodaei et al., 2021; Barclay., 2012).

Se les preguntó a diferentes productores de fresa como la Granja el Atardecer ubicada en Tenjo y fresas Shimana ubicada en Cáqueza, por las problemáticas que más se presentaban alrededor de la cosecha y venta de fresa, quienes expresaron que las principales dificultades son las pérdidas tanto materiales como económicas que causa el no poder vender el fruto debido a su corto tiempo de vida útil y a las afectaciones causadas por los daños mecánicos que sufren en todo su proceso de postcosecha.

Dado que es una fruta muy delicada, es susceptible a presentar daños en el proceso de producción. Por ejemplo, golpes al ser cosechada, aplastamiento en el empaquetado o magulladuras que se producen en el proceso de transporte, entre otras. Estas eventualidades evitan que la fresa pueda culminar su proceso de postcosecha, debido a que un mínimo daño puede aumentar la senescencia de la fruta. A pesar de que estas problemáticas se dan constantemente en las fincas productoras y que en alguna causa pérdidas de más del 30% de las fresas producidas (esto dicho por sus mismos productores), las estrategias que se han desarrollado para evitarlas, aunque disminuyen el porcentaje de pérdidas, no son eficientes.

Dentro de estas alternativas se tienen: (a) la aplicación de tratamientos de desinfección con ozono, el cual actúa como un biocida reduciendo la capacidad de reproducción de bacterias y hongos responsables de la pérdida de la calidad de la fresa. Además, ayuda a preservar sus características organolépticas, previniendo la pérdida de vitamina C (Salas et al., 2022). (b) El uso de la luz ultravioleta de onda corta (UVC), que elimina agentes microbiológicos que puedan afectar de manera negativa asegurando la inocuidad del alimento y evitando problemas sanitarios en el fruto (Beltrán et al., 2012). (c) Atmosferas modificadas, consisten en empaques herméticos a los cuales se les puede variar condiciones como nivel de pH, contenido de agua, temperatura, permeabilidad del embalaje, entre otras para poder reducir la degradación de la fruta y preservar la calidad y frescura de esta. Pero sólo funciona si se mantiene a una temperatura por debajo de 5°C (Céline et al., 2021). Y (d) recubrimientos comestibles, que consisten en una matriz delgada que se extiende a lo largo del alimento con el fin de preservar su calidad y alargar su tiempo de vida útil (Thakur et al., 2019).

Los recubrimientos comestibles son una capa externa a base de diferentes polímeros o macromoléculas (estos pueden ser naturales o sintéticos) que recubren el fruto. Los estudios han demostrado que un recubrimiento comestible podría funcionar como una barrera en la superficie de la fruta modificando su atmósfera interna de gas disminuyendo las pérdidas de agua y retrasando la senescencia de la fruta, protegiéndola de cualquier daño mecánico al que pueda ser expuesta durante su proceso de almacenamiento transporte y comercialización (Thakur et al., 2019). Al aplicar un recubrimiento comestible, es importante tener en cuenta los materiales de elaboración, ya que estos juegan un papel fundamental en la efectividad y protección que se da en el fruto y en el nivel de aceptación del consumidor, ya que el recubrimiento comestible no puede afectar las características sensoriales de la fruta.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo de grado es desarrollar un recubrimiento comestible a base de un polímero natural que ayude a reducir los efectos causados por los daños mecánicos en la fresa tipo Albión en el proceso de postcosecha a escala de laboratorio. Para lograrlo se emplearon 4 fases basadas en la metodología CDIO. La primera fase corresponde al diseño conceptual donde se definieron los componentes que conforman el recubrimiento comestible (plastificante y polímero) y el método de aplicación.

La fase 2 corresponde al diseño detallado en el que se definieron las concentraciones de los componentes y las formulaciones utilizadas para el desarrollo del recubrimiento comestible final. A este recubrimiento se le aplicaron pruebas de caracterización para seleccionar las 3 mejores formulaciones del recubrimiento comestible.

La fase 3 corresponde a la implementación, para ello se hicieron ensayos del método de aplicación seleccionado en la fresa, y a partir de una revisión bibliográfica se empleó como punto de referencia la temperatura de aplicación y secado del recubrimiento (20 °C) (Falconi, 2016; Yan et al., 2019). Además, se analizaron las características de la fruta en cada ensayo finalmente se realizaron pruebas de apariencia general y adhesión en la fresa para seleccionar el recubrimiento que tenga las mejores características.

Por último, la fase 4 corresponde a la evaluación del recubrimiento en la fresa. Se realizó el empaquetado de fresa con y sin recubrimiento y se simuló su proceso de transporte analizando los daños mecánicos causados en esta etapa. Luego se refrigeraron los empaques utilizados en la simulación por 15 días, durante este tiempo, cada tercer día se revisaron y se hicieron pruebas de caracterización (apariencia, pérdida de peso, color, punción, pH, Brix y acidez titulable).

Como resultado de este proyecto se obtuvo el recubrimiento comestible que ayuda a proteger la fresa de daños mecánicos y alarga su vida útil, solucionando la problemática evidenciada por los productores contactados en la investigación.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La fresa es una de las frutas más consumidas a nivel mundial debido a sus características sensoriales las cuales son su sabor, color y fragancia, además posee excelentes propiedades nutricionales y antioxidantes que han sido asociadas con beneficios en la salud. Los componentes principales de este fruto son agua e hidratos de carbono (Giampieri et al., 2012). Es consumida principalmente como fruta fresca, y en producto transformado como jugos, compotas y mermeladas.

Entre 2015 y 2020 el área sembrada de cultivos de fresa aumento en Colombia en un 59%, lo cual lo llevó a destacarse como el tercer país latinoamericano con mayor área sembrada, debido a que en el país se produce esta fruta durante todo el año (Ministerio de Agricultura, 2021). Sin embargo, desde el 2016 se han registrado pérdidas en la postcosecha de hasta un 50% asociadas a daños mecánicos y se puede alcanzar niveles de hasta un 80% cuando estas se mantienen a temperatura ambiente, en un periodo de 8 horas (García et al., 2019).

En los países en desarrollo donde existe una gran deficiencia en la infraestructura de mercadeo, las pérdidas varían entre 25 a 50% de la producción. Las mermas de esta magnitud representan una pérdida significativa de alimentos y un considerable daño económico para los comerciantes y especialmente para los productores. Las pérdidas postcosecha de la fresa varían dependiendo de su ubicación y de las épocas del año. En Estados Unidos, se estima que estas pérdidas van del 2 al 23% a comparación de los países en vía de desarrollo los cuales presentan pérdidas cercanas al 50 % (Alcántara, 2009). En Europa, la principal causa de pérdidas postcosecha está asociada a las bajas temperaturas y los daños mecánicos sufridos por el fruto, alcanzando pérdidas de hasta un 20% en países como Alemania, Francia y España. Por lo cual, la fruta no puede ser cultivada durante todo el año, ya que tiene que estar a una temperatura de entre 15 y 20 °C, si la temperatura varía demasiado, el fruto empieza a perder humedad y por lo tanto su calidad se ve afectada (Novagric, 2020).

En Brasil se estima que las principales causas de pérdidas postcosecha de la fresa son enfermedades con un porcentaje de hasta 85%, seguidas de daños físicos (40%) y fisiológicos (2%). Además, se indica que la principal causa de los daños físicos es provocada por los tipos de envases en los que se empaqueta el fruto, ya que afectan su tasa de respiración, ocasionando daños mecánicos e incrementando la temperatura, favoreciendo el crecimiento microbiano (Postcosecha., 2012).

Estas pérdidas postcosecha se presentan debido a que el fruto tiene un elevado contenido de humedad y un epicarpio blando que lo hace vulnerable a las lesiones mecánicas producidas por la mala manipulación, los materiales de empaque y su transporte. Existen varios tipos de daños mecánicos como compresión, contusiones, punción, abrasión y daños por vibraciones, los cuales hacen que la fresa aumente su liberación de CO<sub>2</sub> y así mismo acelere su proceso de maduración y senescencia. Como consecuencia de estos daños se tiene la disminución de los atributos del sabor, el aroma y la textura. También se ha establecido que la pérdida de firmeza se debe a la hidrólisis enzimática de la pared celular promovida por la transpiración, causante del ablandamiento de los tejidos y la pérdida de vapor de agua en su superficie (Torres et al., 2015). Todo esto afecta la estabilidad del producto, que de acuerdo con Restrepo et al. (2009), alcanza un tiempo de vida útil de 9 días después de su cosecha. La FAO (199), ha presentado informes del efecto que tienen los daños mecánicos en la calidad en frutas y hortalizas. Se atribuyó a las lesiones fisiológicas la pérdida de agua que sufren los frutos y la aceleración de los procesos biológicos, dando lugar a alimentos descompuestos.

Los efectos biológicos causados por los daños mecánicos se relacionan con la piel del fruto ya que en las capas situadas debajo de esta se forman rupturas, lo que aumenta la entrada de bacterias. Debido a estos daños se ven afectadas sus actividades fisiológicas y el tejido empieza a sufrir un oscurecimiento enzimático, el cual aparece cuando este se ha dañado y está en contacto con el aire haciendo que poco a poco la fruta se deteriore (Ministerio de Agricultura, 2021). Este deterioro trae un gran problema para la economía de los productores y comercializadores, ya que las altas pérdidas de fresa durante su proceso postcosecha hace que aumente los costos de producción, recolección y distribución (Postcosecha., 2012).

Todas las afecciones mencionadas causan un gran impacto a nivel social ya que la fresa además de ser un fruto que se consume en fresco, también es utilizada para hacer compotas, mermeladas, jugos y productos comestibles de todo tipo. Por eso al haber una gran cantidad de pérdidas en la postcosecha se corre el riesgo de que muchos productos no lleguen a fabricarse haciendo que en la etapa de distribución las cantidades requeridas del fruto no lleguen a ser las adecuadas.

Por lo tanto, es necesario implementar estrategias que permitan reducir estos daños mecánicos con el fin de incrementar la vida útil de la fresa, reduciendo las pérdidas postcosecha y favoreciendo a los productores a nivel económico, además de entregar promover un producto más seguro para el consumidor. Algunas de estas estrategias son: el tratamiento con ozono, aplicación de micro perforaciones láser, el uso de atmósferas modificadas y la aplicación de recubrimientos comestibles.

La aplicación de un recubrimiento permite proteger al fruto de los daños mecánicos, reducir la pérdida de peso y mantener sus características físicas. Para cada fruta se debe crear un recubrimiento diferente, ya que, dependiendo de la composición física y las propiedades organolépticas pueden variar los materiales de usados en su desarrollo, sus cantidades y su método de aplicación (Thakur et al., 2019), para explicar las causas y efectos de este estudio a continuación se presenta la **Figura 2-1** en la que se muestra el árbol del problema.

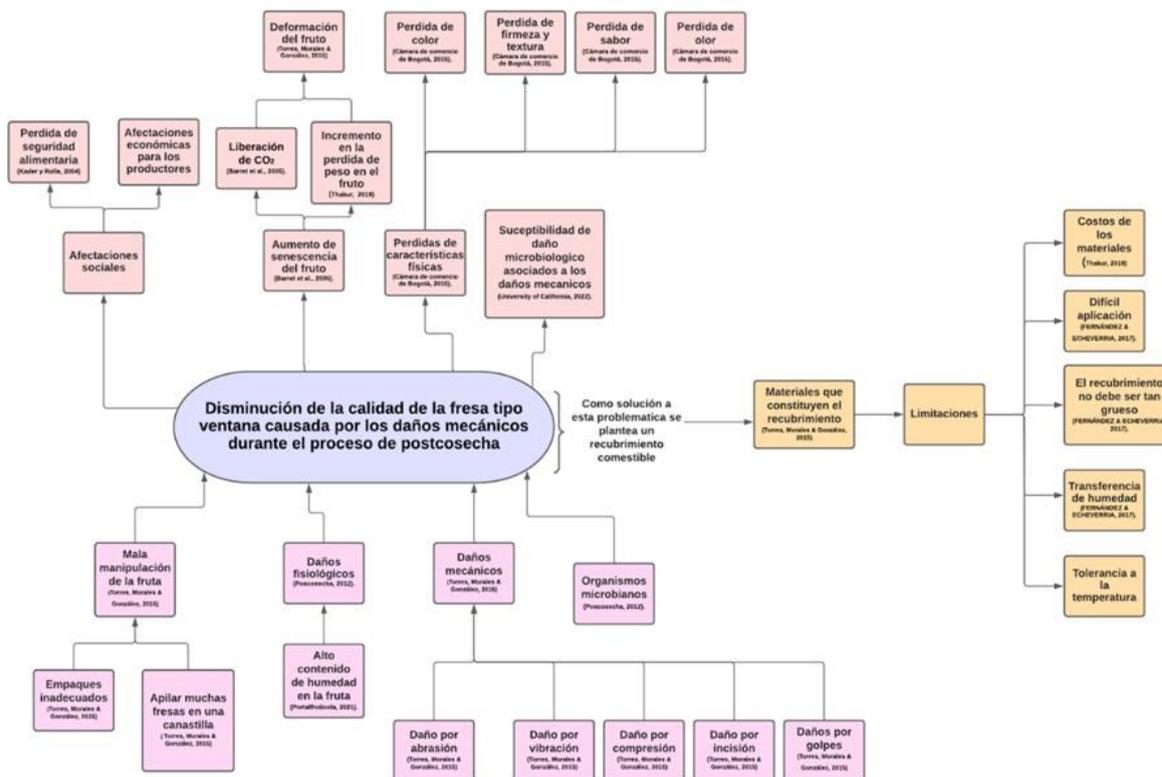


Figura 2-1 Árbol del problema del proyecto

Fuente: Autoría propia

### 3. JUSTIFICACIÓN

Las fresas son frutas no climatéricas, debido a esto se deben cosechar cuando están en su maduración comercial, lo que reduce su tiempo de vida útil. Además, tiene una tasa de respiración muy alta, la cual es de unos 15 mg CO<sub>2</sub>/Kg/h a 0°C, y se incrementa 4 a 5 veces cuando la temperatura sube a 10°C, y de 8 a 15 veces cuando se alcanzan temperaturas entre 10°C y 20°C (Kader et al., 2004). Por otro lado, la manipulación durante el proceso de empaque genera abrasiones internas, daños fisiológicos anormales o grietas por descamación, causando que aumente su tasa de respiración y se acelere la transformación fisiológica de la fruta. Estos factores incrementan su pérdida en el proceso de postcosecha, las cuales pueden ascender hasta el 40% durante su manejo y transporte (Torres et al., 2015).

Para 2016, en Colombia se registraron pérdidas cercanas a 1.165.219 toneladas de frutas y hortalizas durante el proceso postcosecha, lo que equivale al 60% de las pérdidas totales de alimentos del país. La fresa tiene pérdidas de hasta un 50% durante su postcosecha debido a su temperatura de almacenamiento, ya que, al mantenerlas a una temperatura ambiente, los frutos se pueden deteriorar hasta en un 80% en un periodo de 8 horas (García et al., 2019).

Así mismo, la fresa es susceptible a daños mecánicos en la etapa de postcosecha, estos generan una disminución de calidad en el fruto, reduciendo su vida útil y causando una gran pérdida económica para los productores en el país. Esta problemática afecta directamente a las fincas productoras del país, ya que al contactarlas se determinó que la mayor problemática que estas presentaban era la pérdida causada por los daños mecánicos y el corto tiempo de vida útil que tiene la fresa. Además, también afecta la economía colombiana, debido a que la fresa es uno de los productos más consumidos y producidos en la parte central del país y de mayor aumento tanto en exportaciones como a nivel nacional (Vega et al., 2017). Por lo tanto, se planteó el desarrollo de un recubrimiento comestible el cual pueda proteger a la fresa de los diferentes daños mecánicos a los cuales se encuentra expuesta en la postcosecha, aumentando su calidad y tiempo de vida útil, reduciendo pérdidas tanto económicas como del producto en el país.

Estos recubrimientos comestibles a pesar de tener una alta eficiencia brindando protección contra daños mecánicos, también presentan limitaciones. Según la literatura, están relacionadas directamente con los materiales utilizados en su fabricación, por ejemplo, la gelatina a base de pescado usada como polímero principal se presenta una baja resistencia y alta solubilidad en el agua. Al usar quitosano se presenta una alta permeabilidad al vapor de agua que limita su aplicación. Por último, los recubrimientos comestibles hechos con almidón tienen limitaciones

como su semi cristalinidad y rápida retrogradación (Rajat., 2020).

Con base a lo anterior, se necesita implementar una estrategia la cual logre extender la vida útil de la fresa, reduciendo los daños mecánicos y preservando sus características físicas. Dentro de estas estrategias se encuentran el tratamiento con ozono, la aplicación de micro perforaciones láser y la aplicación de recubrimientos comestibles. Este último aumenta la protección de las frutas contra daños y cambios físicos que puedan sufrir en su proceso de senescencia, ayudándola a extender su tiempo de vida útil (Kader et al., 2004).

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo de grado busca desarrollar un recubrimiento comestible a base de un polímero natural que permita reducir los efectos causados por los daños mecánicos en la fresa durante el proceso de postcosecha. El recubrimiento comestible debe tener propiedades de barrera que permitan mitigar los daños mecánicos como lo son la abrasión, compresión, incisiones, magulladuras y vibración, sin afectar los atributos sensoriales de la fresa como el sabor, el aroma y la textura de la fruta (Torres et al., 2015). La efectividad del recubrimiento se evaluará a partir de una prueba la cual simula el proceso de transporte y almacenamiento de la fresa, con el fin de analizar las afectaciones producidas por las vibraciones y también, poder evaluar el efecto que tiene el recubrimiento en la protección contra los daños mecánicos.

El polímero usado en este proyecto tiene las siguientes ventajas: una mejor textura y una disminución en el índice de maduración reducen la respiración de los productos, conservan el contenido nutricional, disminuyen la pérdida de peso y mantienen la firmeza de las frutas.

Este proyecto será desarrollado desde la bioingeniería, ya que se aplican técnicas y conceptos propios de la ingeniería usando la metodología CDIO para generar soluciones a problemáticas asociadas a productos del sector agrícola. Esta metodología consiste en cuatro fases las cuales son concebir, diseñar, implementar y operar, teniendo en cuenta las definiciones de cada una, el presente proyecto llegará al nivel de implementación, debido a que según la metodología ésta se define como la transformación del diseño en el producto, proceso o sistema, incluyendo su testeado y validación (Restrepo et al., 2015), desarrollando está a una escala de laboratorio teniendo como base el diseño experimental propuesto a lo largo del trabajo de grado, al recubrimiento realizado se le ejecutaron pruebas específicas descritas en la metodología para demostrar su comportamiento y efectividad. Por último, los resultados de estas pruebas fueron validados a través de la aplicación del recubrimiento en la fase final, de tal manera que se integraron conocimientos del ente biológico con los procesos de ingeniería, aportando al área focal de sostenibilidad alimentaria.

## **4. OBJETIVOS**

### **A. Objetivo general**

Desarrollar un recubrimiento comestible a base de un polímero natural que ayude a reducir los efectos causados por los daños mecánicos en la fresa tipo ventana en el proceso de postcosecha.

### **B. Objetivos específicos**

- i. Establecer los componentes (polímero y plastificante) y métodos de aplicación que permitan obtener un recubrimiento comestible que pueda ser aplicado en fresa.
- ii. Diseñar un recubrimiento comestible a base de un polímero y plastificante que permita proteger a la fresa de daños mecánicos a partir de un diseño experimental.
- iii. Implementar el recubrimiento comestible en la fresa empleando los métodos de aplicación seleccionados.
- iv. Determinar el comportamiento del recubrimiento comestible aplicado en la fresa a través de pruebas físicas durante el almacenamiento bajo condiciones de refrigeración.

## 5. MARCO DE REFERENCIA

### 5.1 Marco teórico

#### 5.1.1. Fresa

La fresa forma parte de la familia de las rosáceas. La planta como tal posee hojas vellosas, tallos rastreros y con estolones, y flores amarillentas o blancas. Como fruto la fresa alcanza un largo de 1 cm, y presenta un color rojo como se puede observar en la **Figura 5-1**, posee un rico aroma y sabor dulce, se puede consumir en diferentes presentaciones, puede ser cruda, en compota, en mermelada, etc. Este fruto es poco calórico por lo que su valor energético por 100 g de peso de fruto fresco comestible oscila entre 27 y 34 kcal. Está constituida principalmente por agua e hidratos de carbono, además es una fuerte fuente de vitamina C ("Fresa - Información general", 2022).



**Figura 5-1** Fresas

**Fuente:** Autoría propia.

Debido a sus características fisiológicas, las fresas no son frutos resistentes al calor, por lo que no madurarán fuera de la planta, debido a esto se deben cosechar cuando están casi completamente maduras y blandas, lo que reduce mucho la vida útil. Presenta una tasa de respiración alta, 15 mg CO<sub>2</sub>/Kg/h a 0°C, de 4 a 5 veces cuando la temperatura sube a 10°C, y de 2 a 3 veces entre 10°C y 20°C. (Kader, 1991).

El etileno no estimula los procesos que ocurren durante la maduración de la fresa. La eliminación del etileno del fruto puede reducir el desarrollo de enfermedades (University of California, 2022).

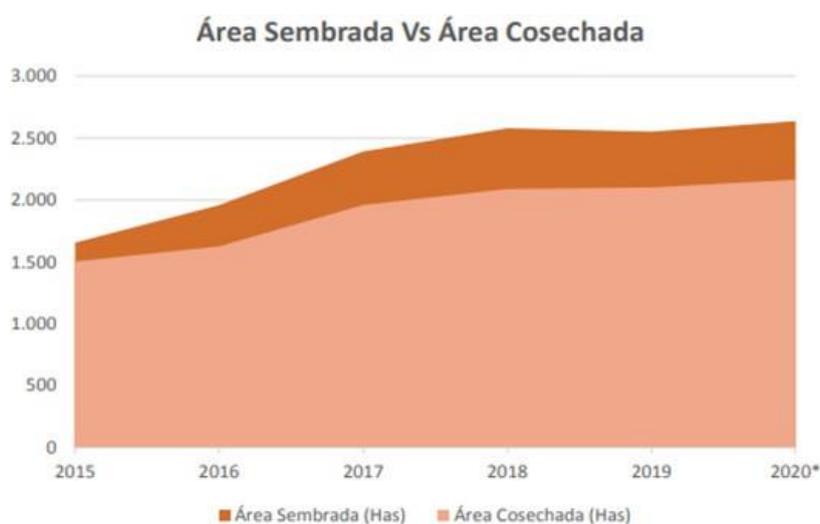
### 5.1.2. Características fisicoquímicas de la fresa

El peso de la fresa varía según la variedad entre 16,53 y 6,65 g. Su concentración de azúcar oscila entre 6,7 y 7,28 °Brix. El sabor de la fresa está condicionado por el balance de azúcar y acidez titulable, ya que tiene azúcares y ácidos con diferentes grados de concentración según la variedad. Su forma es cónica y alargada, sin embargo, dependiendo de la variedad esta puede variar e incluso puede llegar a ser más ancha y delgada. La fresa tiene un brillo intenso y un color rojizo, aunque puede ser más rosado o anaranjado dependiendo de la variedad y la maduración. Su textura es suave y con una firmeza moderada (Cámara de comercio de Bogotá., 2015).

### 5.1.3. Producción de fresa en Colombia

Colombia es el tercer país latinoamericano con mayor área sembrada en cultivos frutales, entre los que se destacan el mango y la fresa. Las variedades de fresa que se siembran en Colombia son principalmente: Camarosa, Albión, Camino Real, Monterrey, San Andreas, Portola Ventana y Palomar (Ministerio de agricultura., 2021).

Entre el 2015 y 2020 el área sembrada de cultivos de fresa aumentó un 59%, pero a pesar de que hubo un gran incremento en el área sembrada no toda esta es cosechada como se observa en la **Figura 5-2**, donde se evidencia una comparación entre el área de fresa sembrada en los últimos 5 años con el área cosechada de la misma. “Las áreas desaprovechadas han aumentado en el último quinquenio, pasando de 153 en 2015 a 473 hectáreas no cosechadas en 2020” (Ministerio de agricultura., 2021).



**Figura 5-2** Comportamiento del área sembrada y cosechada de la fresa en Colombia

**Fuente:** Ministerio de agricultura (2021).

La fresa se cultiva en 13 de los 32 departamentos del País, siendo Cundinamarca el principal departamento productor con 73% de la producción total, seguido de Antioquia con 12%, Norte de Santander con 6%, Boyacá 4% y Cauca con el 3%. Teniendo en cuenta esto el ministerio de agricultura en 2020 registró una producción total nacional superior a las 86.000 toneladas Ministerio de agricultura (2021). Esta se debe cultivar entre 0 a los 3.000 m.s.n.m, a una temperatura que el día esté entre 18 y 25 °C, y en la noche entre 8 y 13 °C, con una humedad relativa entre 60% y 75% en un suelo franco arenoso con contenido de arena superior a 50% y con un pH moderadamente ácido con valores entre 5,7 y 6,5 (Cámara de comercio de Bogotá.,2015).

#### 5.1.4. Fresa tipo Albión

Las distintas variedades de fresas se clasifican en grupos de día corto, día neutro o largo según las horas de luz. La fresa tipo ventana es una variación de día corto que se produce en zonas mayores a los 2800 m.s.n.m. Su tamaño es un poco más grande, es firme, resistente y como se observa en la Figura 5.3 esta cuenta con un color un poco más claro tanto interna como externamente. Esta variedad no se deforma fácilmente gracias a su polinización, además esta es resistente a ácaros, pero tiene una alta sensibilidad a enfermedades del suelo (Cámara de comercio de Bogotá., 2015).



**Figura 5.3.** Fresa tipo Albión

**Fuente:** Autoría propia.

### 5.1.5. Daños mecánicos de la fresa

La mayor parte de los daños mecánicos de la fresa se dan en la postcosecha por una mala manipulación del fruto, los materiales de empaque y su transporte. Estos daños afectan, directamente la calidad del producto a la hora de ser consumido. De acuerdo con Torres et al (2015) los daños más significativos son:

- **Abrasión.** Es el daño causado por la fricción entre las mismas fresas u otro material, este daño se da principalmente en el proceso de transporte o alguna etapa del manejo. Cuando este daño sucede la piel de la fruta se daña o se separa con facilidad del tejido sano.
- **Incisiones.** Son pequeños cortes que puede sufrir el fruto, estas pueden ser causadas por astillas o por el propio recolector a la hora de cosechar la fruta.
- **Magulladuras.** Es el daño que evidencia una fruta luego de ser golpeada, esta no necesariamente implica daño en la piel de la fruta. Pero si esta es muy fuerte se pueden llegar a provocar decoloración en la piel de la fruta y cambios en su sabor.
- **Compresión.** Situación en la que la fruta se ve expuesta a altas presiones modificando su estructura, si la presión llega a ser muy alta se podría hablar de la deformación o destrucción del fruto.
- **Vibración.** Se considera vibración a la variación del estado de un sistema físico provocada por una perturbación del equilibrio mecánico. Esta perturbación origina una fuerza recuperadora, que tiende a restablecer el equilibrio, si a la fuerza se opone un rozamiento, se provoca un daño mecánico. Este tipo de daño se provoca durante el transporte de las fresas hasta su destino.

### 5.1.6. Condiciones ambientales que influyen en la calidad de la fresa

- **Respiración.** Durante la respiración los nutrientes almacenados en el fruto (carbohidratos, proteínas y grasas) se descomponen en productos finales sencillos, con ayuda de la liberación de energía. La pérdida de estos materiales orgánicos acelera la senescencia, por lo tanto, hay una disminución del valor energético, es decir la pérdida del fruto es directamente proporcional a su tasa de respiración (Barret et al., 2005). Autores como Barret (2005), afirman que la tasa de respiración de la fresa es muy alta comparada con otros frutos para la fresa se registran valores de 50 – 100 mL CO<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> (Mitcham et al., 2013).

- **Pérdida de agua y transpiración.** La pérdida de agua en la fresa es causada por a la velocidad de respiración del fruto, ya que durante el manejo de este prevalecen temperaturas de hasta 32°C. Lo que causa este aumento de velocidad en la respiración, también provoca la transpiración del fruto, lo que conlleva no sólo la pérdida de agua, sino también de peso en el fruto (Sixto., 2021).

### **5.1.7. Proceso postcosecha de la fresa**

#### **5.1.7.1. Cosecha**

Con respecto al rendimiento, el ciclo del cultivo y la producción pueden variar según la época de siembra y los materiales utilizados, normalmente la fresa se planta en el mes de mayo para que a mediados de diciembre. Con un buen manejo de la planta se mantiene una buena producción. Si se considera una producción de 50 toneladas, con el sistema de siembra de mayo a junio, se espera que esas producciones se distribuyan en un 60% entre diciembre, enero y febrero, un 25% de la producción entre marzo, abril y mayo y el 15% en los meses siguientes hasta octubre. Un dato importante es que los primeros meses son más productivos y la fruta es de mejor calidad por su tamaño y uniformidad (Infoagro., 2021).

Debido a que la fresa es una fruta muy perecedera, esta se debe cosecharse cada 3 días y al hacerlo debe ser manipulada con mucho cuidado, ya que un mal tratamiento puede traer pérdidas de calidad en la fruta. En un manejo adecuado de la fruta, puede estar la diferencia entre cosechar el 90% o el 30% de la fruta que la planta produce, para esto debe empezarse a manejar la fruta desde antes de su formación y su desarrollo, para que llegue en buenas condiciones a la cosecha (Infoagro., 2021).

#### **5.1.7.2. Proceso de selección**

La cosecha de la fresa se hace de manera manual en horas de la mañana, para evitar daños mecánicos esta se recolecta usando extremo cuidado y guantes de látex. Los frutos para recolectar dependen de la maduración aceptada a nivel comercial, estos establecidos en la NTC 6284 la cual habla acerca de los requisitos que debe cumplir la fresa. (Icontec, 2018), esta se define por el color presente en la piel del fruto. Se debe conocer los parámetros de calidad del fruto en el país o en la zona donde se cultiva. Al realizar la selección el fruto se coloca en canastas en las cuales lo ideal es no llevar más de 5 a 8 kg en cada una. Estas deben ser plásticas, pues causan menos daños mecánicos y son de fácil limpieza (Cámara de Comercio de Bogotá., 2015).

### **5.1.7.3. Pretratamiento de la fresa**

En esta fase de la postcosecha se pesa la cantidad de fruta seleccionada y se procede a hacer un lavado de cada uno de los frutos producidos, para posteriormente realizar un último análisis de calidad antes de ser empaquetado y transportado (Cámara de Comercio de Bogotá., 2015).

### **5.1.7.4. Cajas para el traslado**

Los empaques más usados durante el proceso de cosecha son de plástico, tanto para consumo en fresco como industrial. Otro tipo de empaques para consumo en fresco pueden ser los de cartón comprimido o madera que se elaboran de acuerdo con el peso contenido (empaques para 250, 500, 1000 y 2000 g). Actualmente, se ha innovado en el uso de empaques biodegradables, de mayor sostenibilidad y amigables con el medio ambiente (Cámara de Comercio de Bogotá., 2015).

### **5.1.7.5. Transporte**

En el proceso de transporte de la fresa, primero es llevada a un área de refrigeración, en donde se enfriará la fresa antes de procesarla. Esta cámara tiene una temperatura de 5°C y una humedad relativa en un rango entre el 85% - 90%.

Luego de esta refrigeración viene el transporte al área de empaque. Este se puede dar de dos formas: la primera, consiste en trasladar directamente desde el lugar de cosecha de la fresa al punto de entrega. Aunque se reducen los costos con este método, se corre el riesgo de que se pierda en gran medida la calidad de la fruta. La segunda forma es colocar las fresas en mesas con una cubierta de acero inoxidable diseñadas especialmente con canales para transportarla por medio de agua lo cual sirve como preparación para el lavado, el agua que se usa para transportar la fresa contiene cloro en 8 ppm para poder eliminar bacterias que pudiera traer el agua y la misma fresa.

Una vez hecho esto la fresa se lava y se prepara para una inspección y su próximo empaquetado y transporte. Antes de ser empaquetada la fresa pasa por un control de calidad en donde se analizará si el fruto está en condiciones óptimas para su transporte y consumo, si este pasa el control de calidad es empaquetado y distribuido por el resto del país (Secretaría de Economía., 2021).

### 5.1.8. Tratamientos para incrementar la vida útil de la fresa

A continuación, se muestra la **Tabla 5-1** en la cual se hace una lista de los tratamientos utilizados para incrementar la vida útil de la fresa en la que se especifican su tipo y la función de cada tratamiento.

**Tabla 5-1** Tratamientos para incrementar la vida útil de la fresa

Tratamiento	Tipo de tratamiento	Función	Referencia
Tratamiento con ozono	Antimicrobiano	Prolongar la vida útil de las fresas impidiendo su enmohecimiento, además de preservar sus características organolépticas, previniendo la pérdida de vitamina C en almacenajes de 10 días	(Salas et al., 2022)
Micro perforaciones láser	Protección contra daños	Potenciar la conservación del alimento mejorando las condiciones del microclima creado en el interior del envase permite alargar la vida útil de la fresa hasta en 7 días en condiciones normales	(Pérez., 2015).
Luz ultravioleta de onda corta UV-C	Antimicrobiano	Garantizar la conservación de los alimentos, asegurando la inocuidad del alimento, evitando problemas sanitarios que los alimentos en mal estado podrían causar al consumidor	(Beltrán., 2012).
Empaque con atmósferas controladas.	Protección contra daños	Envasar sus productos en mezclas específicas de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono de calidad alimentaria que reducen el deterioro.	(Air Liquide., 2022)
Recubrimiento	Protección contra daños, antimicrobiano	Proteger a la fresa de cualquier daño mecánico que pueda sufrir tanto de manera interna como externa, tratando de que la fresa quede lo más protegida posible y de esta manera aumentando su tiempo de vida útil	(Kader et al., 2004).

### 5.1.9. ¿Qué son los recubrimientos comestibles?

Matriz transparente continua y delgada, que se estructura alrededor de un alimento generalmente mediante la inmersión de este en una solución formadora del recubrimiento con el fin de prolongar su vida, preservar su calidad y servir de empaque. Estos pueden ser consumidos junto con el alimento, además pueden proporcionar esterilidad superficial y prevenir pérdidas de otros componentes importantes, así como también pueden brindar protección a agentes externos o daños (Fernández et al., 2015).

#### 5.1.10. Parámetros de calidad de los recubrimientos comestibles

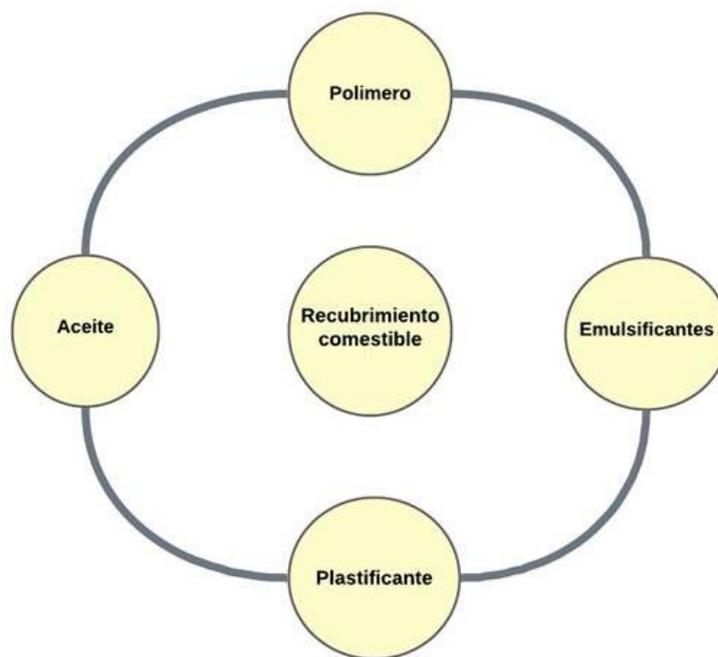
Este debe ser incoloro, inodoro y no debe tener ningún sabor, también tienen propiedades de barrera fisicoquímicas y antimicrobianas aportando una mejor calidad de la fruta. (Saavedra et al., 2010). La permeabilidad al vapor de agua es una de las propiedades más importantes de los recubrimientos y su medición ayuda a pronosticar la pérdida o ganancia de agua en los alimentos cubiertos. Se puede ver afectada por los materiales de la película, la adherencia en el fruto, el ancho y la flexibilidad. Una variable para tener en cuenta al hablar de permeabilidad en el agua es el efecto espesor de las películas influye sobre los valores de esta, ya que, si aumenta el espesor de la película, disminuye la permeabilidad de vapor de agua (Ramos et al., 2018).

#### 5.1.11. Técnicas utilizadas para la elaboración de recubrimiento

- Eliminación de solventes. En este proceso, se forma y estabiliza una estructura molecular mediante interacciones físicas y químicas. La solución comestible formadora de hidrocoloides se incorpora a un disolvente (agua, etanol, ácido acético) que contiene aditivos como plastificantes y solutos; A continuación, se elimina el solvente, dejando una capa delgada que se seca y eventualmente se puede desprender del material base (Cagri et al., 2004).
- Gelificación térmica. El uso de un tratamiento térmico en este proceso permite la formación de un gel estable con una estructura rígida. Esto se usa comúnmente para películas y recubrimientos de proteínas, descrito como un proceso donde la desnaturalización térmica desestabiliza las moléculas de proteínas, lo que da como resultado la formación de una red estable entre partículas (Carmona et al., 2007).
- Solidificación. En este proceso, las macromoléculas se disuelven junto con el plastificante hasta homogeneizar y verterse en moldes en finas capas (Ávila et al., 2012).
- Método Casting. Una vez disueltos los componentes de la película, se evapora el solvente a temperatura y humedad controladas, dando como resultado la formación de la película conformada por biomoléculas como proteínas, polisacáridos, lípidos, plastificantes y agua (Escobar et al., 2009).

#### 5.1.12. Componentes de los recubrimientos comestibles

En la siguiente Figura 5.4 se muestran los componentes que hacen parte de los recubrimientos comestibles.



**Figura 5.4.** Diagrama de componentes del recubrimiento.

**Fuente:** Autoría propia.

- **Polímeros naturales:** Son aquellos polímeros que se extraen de la naturaleza, ya sea de animales marinos, vegetales e incluso bacterias. Sus componentes fundamentales son macromoléculas formadas por la repetición de monómeros. Entre estas moléculas se encuentran el almidón, la celulosa, las proteínas y los ácidos nucleicos (Labeaga et al., 2018).
- **Emulsificantes:** Son aditivos alimentarios aprobados por la Administración de Alimentos y Medicamentos que ayudan a combinar los productos que tienen ingredientes alimentarios inmiscibles, como aceite y agua. Crean micelas estables que se forman en la interfaz ayudando a la mezcla (Insight., 2021). De los emulsificantes más utilizados está el tween 80 que actúa reduciendo la tensión superficial entre compuestos insolubles y la fuerza mecánica de la agitación, esto juega un papel vital en la emulsificación de las soluciones formadoras de recubrimientos.
- **Plastificante:** Son moléculas de baja volatilidad y con naturaleza química similar a la del polímero del recubrimiento, estos son utilizados para mejorar la flexibilidad y la funcionalidad de los recubrimientos (Solano et al., 2020).
- **Aceite:** Contienen componentes no polares los cuales pueden disminuir la solubilidad al reducir las características hidrofílicas del compuesto de película pueden reducir o maximizar el coeficiente de difusión según el tipo (Vân et al., 2023). Dentro de los aceites

los más utilizados están los esenciales que contienen compuestos producidos por el metabolismo secundario de las plantas. Son especialmente útiles porque no son tóxicos, son biodegradables y, en general, se consideran seguros para el consumo. Dentro de los aceites más utilizados está el de canola.

#### **5.1.13. Limitaciones de los recubrimientos comestibles**

Las limitaciones de estos dependen directamente de los materiales con los cuales están hechos y las concentraciones de estos, ya que cada material tiene una serie de características propias que son funcionales dependiendo de las propiedades del alimento en el cual se va a aplicar (Saavedra et al., 2010).

#### **5.1.14. Pruebas de caracterización aplicadas a los recubrimientos comestibles**

Se aplicaron las pruebas de apariencia, índice de color, prueba de elasticidad y espesor, las cuales se describen a continuación de manera más detallada.

##### **5.1.14.1. Apariencia del recubrimiento.**

Los cambios de apariencia se hacen de manera subjetiva por medio de fotografías tomadas a la hora de hacer cada análisis con el fin de describir e identificar diferencias físicas que pueden surgir a medida que pasa el tiempo, estas se hacen a la fruta con y sin recubrir para comparar los resultados de la eficiencia del recubrimiento (Vignesh & Nair, 2019). Las condiciones en las que se realiza la prueba se encuentran de manera específica en la metodología.

##### **5.1.14.2. Índice de color**

El índice de color se utiliza para medir la luminosidad de cada uno de los recubrimientos, esta prueba se realiza en diferentes áreas y está ligada a otros análisis como lo son el de espesor. Se realiza a través de un colorímetro Minolta CM 2500d y su importancia es principalmente analizar que el recubrimiento no vaya a afectar el color de la fresa, ya que este es uno de los atributos de calidad más importantes a la hora de consumirla (Garnida & Taufik, 2022). Las condiciones en las que se realiza la prueba se encuentran de manera específica en la metodología.

##### **5.1.14.3. Prueba de elasticidad**

Esta prueba se realiza con un texturómetro TX  $\pm 700$ , tiene una alta importancia en el desarrollo del proyecto debido a que, dependiendo de la elasticidad de un recubrimiento, este al ser aplicado en la fruta puede que sea o no quebradizo. Si el recubrimiento llega a ser muy quebradizo podría reducirse la protección que este le brinda a la fruta contra los daños mecánicos (Faria et al., 2019).

Las condiciones en las que se realiza la prueba se encuentran de manera específica en la metodología.

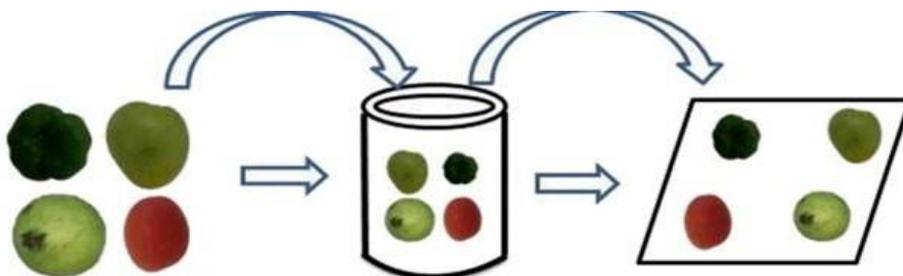
#### 5.1.14.4. *Espesor*

La prueba de espesor está ligada principalmente a la densidad y la viscosidad de la solución realizada. Esta prueba es importante debido a que si el espesor es muy alto puede disminuir la permeabilidad al vapor de agua, la cual es una de las propiedades más importantes de los recubrimientos comestibles (Ramos et al., 2018). El espesor también se ve afectado por el tipo de almidón, el tipo de plastificante y sus concentraciones, debido a que al añadir grandes cantidades de diferentes materiales en la realización del recubrimiento comestible se aumenta su espesor al aplicarlo. Este se mide con un micrómetro digital Mitutoyo de 0-25 mm en diferentes partes del recubrimiento, las condiciones en las que se realiza la prueba se encuentran de manera específica en la metodología.

#### 5.1.15. *Métodos de aplicación de recubrimientos comestibles*

A continuación, se muestran los métodos de aplicación que pueden ser utilizados en los recubrimientos. Algo a tener en cuenta de esto es que cada método tiene una especificación por lo cual los recubrimientos deben ser aplicados con un método al cual se le haya hecho un análisis primero para así evitar complicaciones a la hora de aplicar.

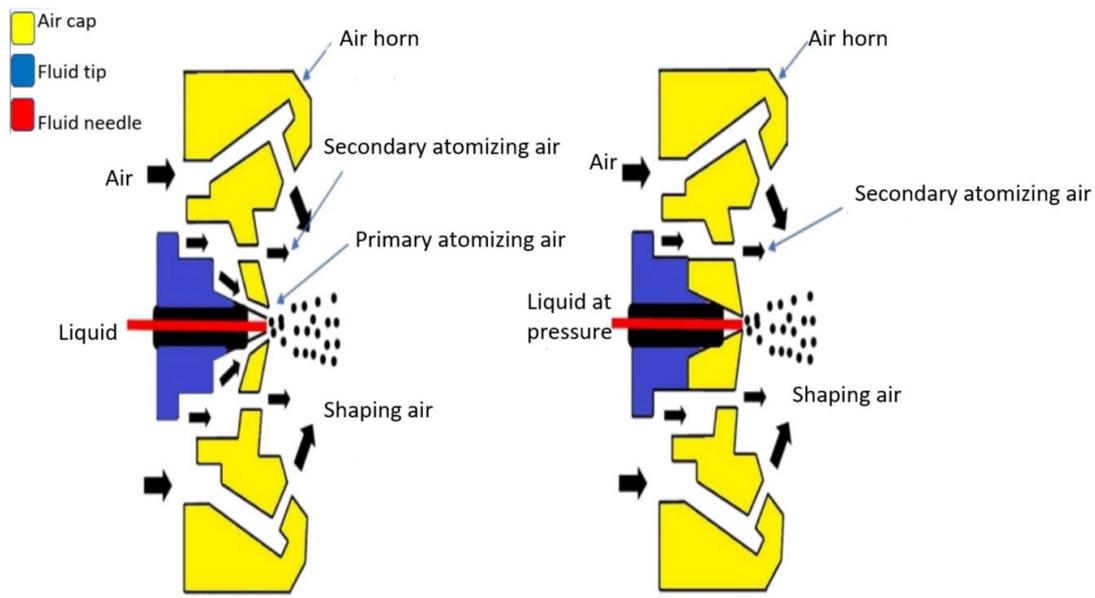
- **Método de inmersión.** La inmersión es el método más común para aplicar un recubrimiento, como se ve en la Figura 5.5, consta de tres pasos: inmersión y permanencia, deposición y evaporación de solvente. Para esto, el sustrato se sumerge en la solución a una velocidad constante asegurando que el sustrato quede totalmente cubierto. Este recubrimiento se secará a temperatura ambiente y su espesor dependerá de las características de los compuestos elegidos para su fabricación (Rajat et al., 2020).



**Figura 5.5.** Método de inmersión

**Fuente:** Rajat et al. (2020).

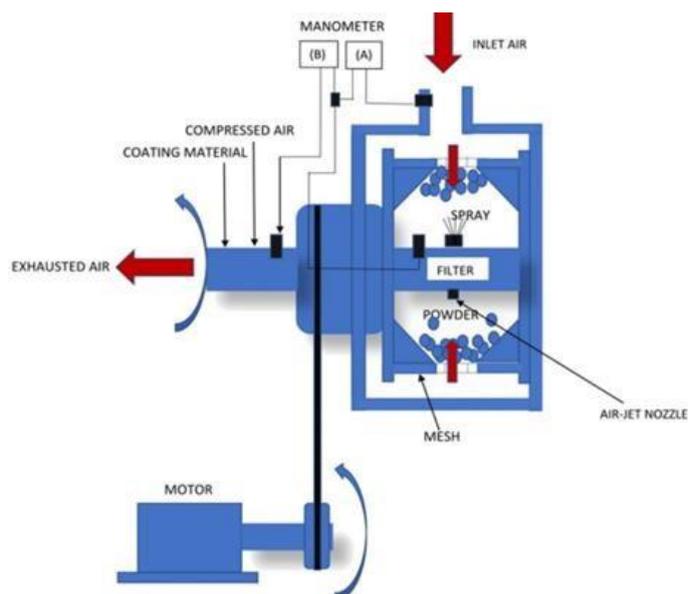
- Método de pulverización.** Es el método más utilizado para la aplicación de recubrimiento comestible a nivel industrial, como se observa en la Figura 5.6, consiste en aumentar la superficie del líquido mediante la formación de gotas y la dispersión de estas a través de la superficie de los alimentos con un conjunto de boquillas. En las industrias se han utilizado tres técnicas para aplicar un recubrimiento sobre productos alimenticios, las cuales son: atomización, atomización sin aire asistida por aire y atomización a presión (Rajat et al., 2020).



**Figura 5.6.** Método de pulverización

Fuente: Rajat et al. (2020).

- Método de procesamiento de lecho fluidizado.** Este método es ampliamente utilizado en aplicaciones de investigación, como se ve en la Figura 5.7 este consiste en aplicar capas finas del material de recubrimiento para secar partículas de densidad excepcionalmente bajas. La solución del recubrimiento y la suspensión se rocían sobre la superficie del polvo fluidizado a través de una serie de boquillas para formar una estructura similar a una concha en un proceso de recubrimiento. Este proceso se da cuando un flujo de líquido se mueve hacia arriba (Rajat et al., 2020).



**Figura 5.7.** Método de procesamiento de lecho fluidizado

**Fuente:** Rajat et al. (2020).

- **Método panorámico.** Este método se usa generalmente en la aplicación de un recubrimiento para fármacos. Para esto los productos deben ser rebozados en un recipiente giratorio llamado sartén. Luego la solución de estratificación se rocía en un recipiente giratorio y el producto resultante se extrae y se voltea para colocarlo en la solución de recubrimiento comestible de manera uniforme en la superficie del producto alimenticio (Rajat et al., 2020).

## 5.2. Marco legal

A continuación, se presenta la **Tabla 5-2** en la cual se muestran las normas legales asociadas a sus definiciones y la relación de estas con el proyecto.

**Tabla 5-2** Normas en relación con el proyecto.

Norma	Definición	Relación con la investigación
<p><b>NTC 1257</b> Empaques De Baja Densidad</p>	<p>Se establecen los requisitos generales que deben cumplir los empaques de alimentos, como porejemplo su apariencia, que estén libres de burbujas, de agentes tóxicosy sus medidas. Además, también habla de la etiqueta presente en esteempaque (Higuita et al., 2018).</p>	<p>Esta norma se relaciona con el proyecto debido a que nos indica las condiciones que debe cumplir un empaque de alimentos en general.</p>
<p><b>RESOLUCIÓN 0224 DE 2007</b> Requisitos mínimos que deben cumplir los empaques de los productos agrícolas para consumo humano que se importen, se produzcan y se comercialicen en el territorio nacional</p>	<p>Esta resolución presenta los requisitos generales para el empaque de productos agrícolas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Debe ser nuevo.</li> <li>b. Estar construido con materiales inertes e inocuos y libres de residuos de fabricación;</li> <li>c. Permitir su manipulación y estibamiento durante el transporte y el almacenamiento;</li> <li>d. Contar con un diseño que permita la ventilación del producto en caso de requerirlo;</li> <li>e. Debe tener las medidas que le permita modular con las estibas de acuerdo con la Norma ISO 3394;</li> <li>f. No debe superar los límites de peso máximo establecidos por la OIT y el Ministerio de Salud, hoy Ministerio de la Protección Social;</li> <li>g. Antes de ser utilizado debe estar correctamente almacenado para garantizar la conservación de sus propiedades y evitar la contaminación con agentes biológicos y químicos;</li> <li>h. Debe contener en forma impresa los datos del fabricante del empaque,</li> </ul>	<p>Esta resolución se relaciona con el proyecto debido a que el producto al cual está enfocado este es la fresa y esta al ser un producto agrícola para el consumo humano debe seguir estas reglas establecidas.</p>

<p><b>Resolución 683 de 2012</b></p> <p>Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano.</p>	<p>Se establece el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano (Ministerio de salud., 2016).</p>	<p>Esta resolución se relaciona de manera directa con nuestro proyecto debido a que, el propósito del proyecto es hacer una película protectora la cual ayude a las fresas mientras están empacadas, y al ser esta un establecimiento de reglas con respecto al empaquetamiento de debe tener muy en cuenta.</p>
<p><b>NTC 5422</b></p> <p>Empaque y embalaje de frutas, hortalizas y tubérculos fresco</p>	<p>Presentan los requisitos que deben cumplir los empaques y embalajes utilizados en la comercialización de frutas, hortalizas y tubérculos frescos, con el propósito de conservar su calidad, protegerlos de agentes contaminantes y prevenir la contaminación del medio ambiente. (Icontec B., 2017).</p>	<p>Esta norma se relaciona con el proyecto debido a que el proyecto está enfocado en la parte de postcosecha de a fresa y en esta se ubica el empaque y embalaje de esta, en ella se evidencia los requisitos que tiene que cumplir el producto a la hora de ser empaquetado y también como este empaquetado se hace correctamente.</p>
<p><b>NTC 628</b></p> <p>Frutas frescas.</p> <p>Fresas Especificaciones</p>	<p>Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las variedades de fresas para consumo. Se excluyen las fresas destinadas a procesos de conservación (Icontec., 2018).</p>	<p>Esta norma tiene una relación directa con nuestro proyecto debido a que en ella se aclaran los requisitos que debe cumplir la fresa a la hora de ser consumida</p>
<p><b>NTC 4103</b></p> <p>Frutas frescas. Fresa variedad Chandler. Especificaciones</p>	<p>Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la fresa variedad Chandler (<i>Fragaria chiloensis</i> L), destinada para el consumo en fresco o como materia prima para el procesamiento (Icontec C., 2018).</p>	<p>Esta norma tiene una relación directa con nuestro proyecto ya que en ella se aclaran los requisitos que debe cumplir la fresa Chandler a la hora de ser consumida</p>

### 5.3. Estado del arte

En la **Tabla 5-3**, se muestran algunos de los artículos utilizados en esta compilación de información los cuales han trabajado en recubrimientos comestibles, estos aplicados en diferentes frutas. A partir de esto se analizó los efectos que los recubrimientos tienen en las frutas causando reducción microbiana, aumentando la protección del fruto y por ende su tiempo de vida útil. De estos artículos se resaltó información importante como: el tipo de fruta teniendo en cuenta si tiene cáscara o no, los compuestos utilizados y los métodos de aplicación implementada, esto nos permite establecer con más claridad que debe usar para el proyecto.

**Tabla 5-3** Revisión bibliográfica de recubrimientos aplicados en frutas

<b>Título</b>	<b>Materiales y concentraciones</b>	<b>Método de aplicación</b>	<b>Referencia</b>
La inmersión de goma arábica y ácido salicílico después de la cosecha afecta la calidad y los cambios bioquímicos de los plátanos 'Grand Nain' durante la vida útil	Goma arábica y ácido salicílico. No se especifican concentraciones.	Inmersión	(Ahmad A. 2018)
Efecto inhibitorio del ácido salicílico y el recubrimiento de gel de aloe vera sobre la carga microbiana y la lesión por enfriamiento de la fruta de naranja	Hojas maduras de las plantas de aloe vera y glicerol. No se especifican concentraciones.	Inmersión	(Rasouli et al., 2018)
Efecto de recubrimiento de Aloe vera y alginato de sodio sobre la calidad postcosecha de fresa	Alginato de sodio en agua destilada al 1,5% (p/p), Glicerol 0,5% (p/p)	Inmersión	(García et al 2019)
Un recubrimiento superficial comestible de almidón retrasa la maduración de la fruta del plátano	Almidón de arroz (3%, p/p) y glicerol (1%, p/p) /-car (1,5%, p/p).	El material de recubrimiento sobrecargado se extendió uniformemente con las manos enguantadas antes de retirarse y se secó al aire	(Thakur et al, 2019)
Desarrollo y aplicación de película comestible de almidón activo de patata para extender la vida útil del mini panettone	Almidón de patata 46 g/kg, azúcar 14 g/kg, sacarosa 7g/kg, sorbato de potasio 1 g/kg y ácido cítrico 10 g/kg	Las soluciones se aplicaron como capas	(Oliveira., 2016)
Desarrollo y aplicación de película comestible de almidón activo de patata para extender la vida útil del mini panettone	Almidón de patata 46 g/kg, azúcar 14 g/kg, sacarosa 7g/kg, sorbato de potasio 1 g/kg y ácido cítrico 10 g/kg	Las soluciones se aplicaron como capas	(Oliveira., 2016)
Evaluación de los daños mecánicos de la fresa variedad Albión con el uso de una película comestible durante la cadena postcosecha	Almidón de achira (16 g), glicerol (17 g), ácido tánico (0.1%) en 100 ml de solución.	se aplicaron a las fresas por medio de una inmersión durante 1 minuto y se dejaron secar en moldes durante 20 minutos	(Torres et al., 2015)
Desarrollo y aplicación de un recubrimiento comestible a base de almidón de arroz para mejorar el potencial de almacenamiento postcosecha y la calidad de la ciruela ( <i>Prunus salicina</i> )	Almidón de arroz (3 %, p/p)- carragenina (1,5 %, p/p), FAE (2 %, p/p) glicerol (1 %, p/p)	Inmersión	(Thakur et al, 2019)

## 6. REQUERIMIENTOS

### 6.1. Calidad

- Debe ser incoloro para que no afecte las características sensoriales de la fresa(Thakur et al., 2019).
- El recubrimiento no debe modificar la apariencia física de la fruta (Quintero et al.,2010).
- Debe proteger a la fresa de la deshidratación (Morales et al., 2015).
- Debe estar compuesto por un polímero natural el cual le pueda brindar propiedades sensoriales específicas para recubrir la fresa, un plastificante el cual brinde elasticidad y dureza, un emulsificante el cual pueda combinar de manera correcta la parte lipídica y líquida del recubrimiento y un lípido que disminuya la permeabilidad de agua.
- Debe proteger a la fresa para que esta no presente pérdida de agua, evitando variaciones en cuanto a su calidad y así mismo prolongar su vida útil.

### 6.2. Funcional

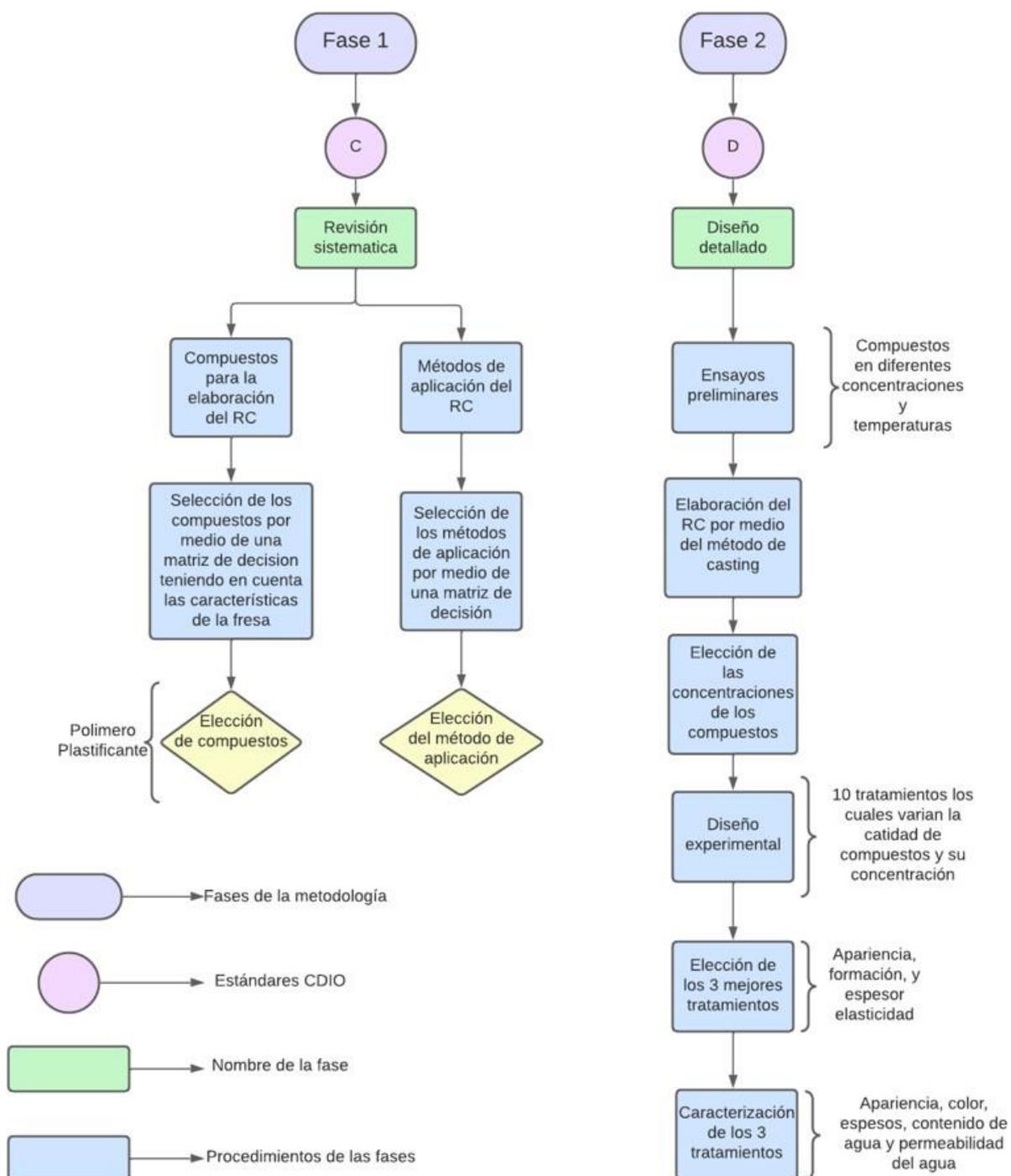
- Debe brindar una barrera la cual tenga la capacidad de proteger la fresa de la deshidratación.
- Debe retrasar el proceso de senescencia de la fresa en condiciones de almacenamiento (Del Valle et al., 2005).
- Debe reducir la pérdida de peso de la fresa (Thakur et al., 2019).
- El espesor del recubrimiento debe permitir la permeabilidad al vapor de agua y evitar la anaerobiosis de la fruta durante el almacenamiento, este debe estar en un rango de (0,13 – 0,25 mm) (Atieno et al., 2019).

### 6.3. Restricción

- Debe mantener su integridad en las condiciones de temperatura ambiente (20°C) y a la temperatura de refrigeración (4-10°C) (García et al., 2019).
- Debe ser seguro para el consumo humano de acuerdo con las normas NTC 6284 y NTC 4103 (Icontec., 2018; Icontec., 2018).
- El polímero que se elija a través de la matriz de decisión debe formar una película continua y homogénea (Rajat et al., 2020).

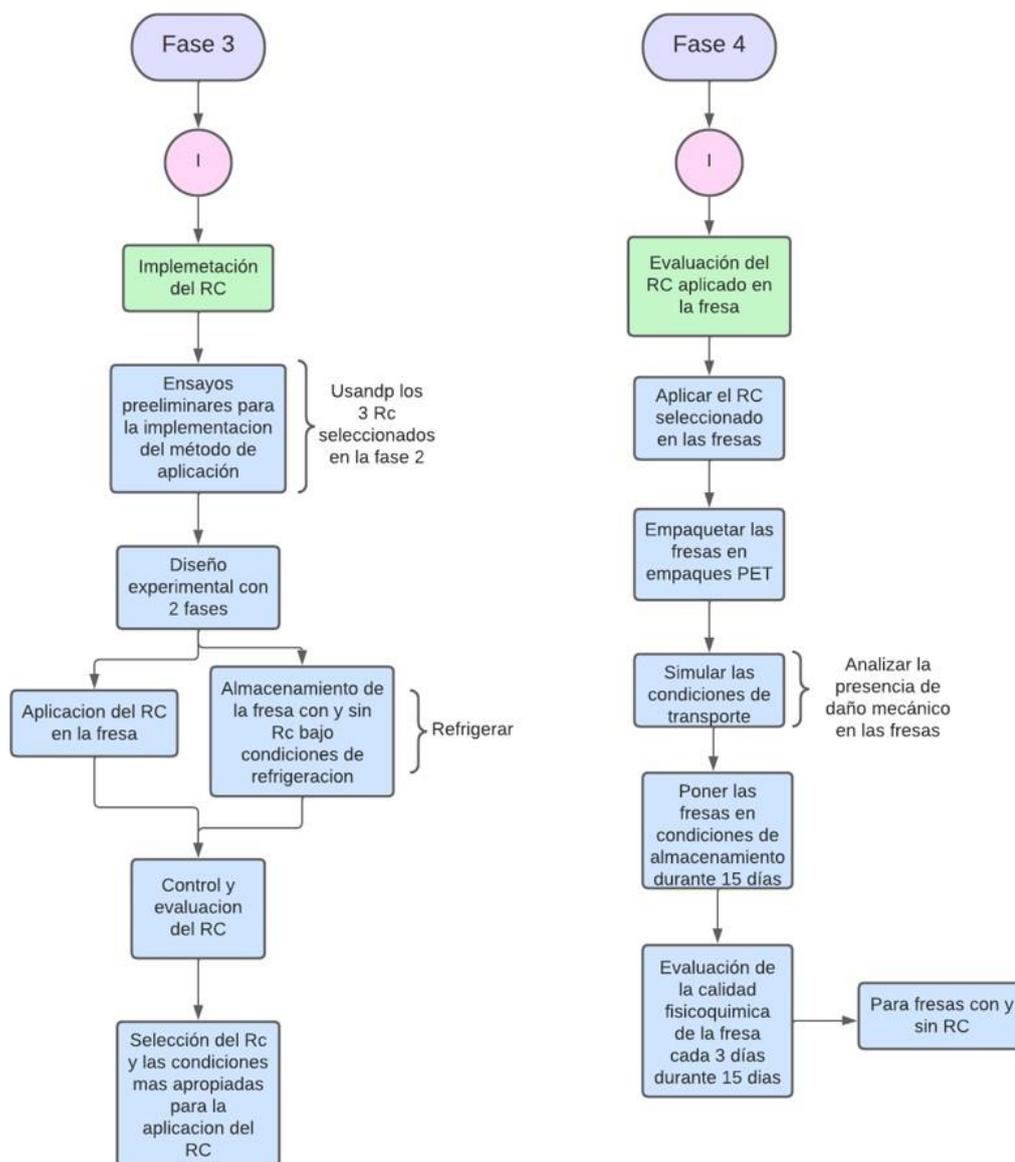
## 7. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo de grado se empleó la metodología CDIO, en las **Figura 7-1** y **Figura 7-2**, se indican las actividades a desarrollar en cada fase.



**Figura 7-1** Metodología general CDIO fase 1 y fase 2

Fuente: Autoría propia



**Figura 7-2** Metodología general CDIO fase 3 y fase 4.

**Fuente:** Autoría propia.

A continuación, se describen cada una de las fases:

### 7.1. Fase 1. Diseño conceptual

Se realizó una revisión bibliográfica para recopilar información en relación con los componentes de los recubrimientos utilizados en fresa, empleando como principales bases de datos ScienceDirect y Scopus. Como criterio de búsqueda, se usó “edible coatings”, “cassava starch”, “postharvest treatments” y “strawberries”.

Estos criterios de búsqueda permitieron definir las condiciones para el desarrollo del recubrimiento comestible.

A partir de los artículos revisados se identificaron los tipos y concentraciones de cada compuesto utilizado en el desarrollo del recubrimiento (polímero, plastificante, emulsificante y aceite).

1. Se realizó una revisión bibliográfica para recopilar información en relación con los métodos de aplicación usados para implementar el recubrimiento en la fresa, utilizando como principales bases de datos ScienceDirect y Scopus, empleando como criterio de búsqueda “application methods”, “strawberries” y “edible coatings”. Los criterios de búsqueda fueron seleccionados debido a que los documentos utilizados en la investigación tenían estos términos en común, por lo cual se decidió escoger estos como palabras clave para continuar encontrando artículos en relación con la investigación de manera más sencilla en las bases de datos. A partir de la información obtenida se identificó los métodos de aplicación de los recubrimientos teniendo en cuenta las condiciones del proceso de aplicación (tiempo, temperatura y condiciones de secado).
2. A partir de la información recopilada en la revisión bibliográfica se procedió a hacer tres matrices de decisión, dos para la elección de los componentes del recubrimiento (polímero y plastificante) y otra para la elección del método de aplicación de este. Teniendo en cuenta la información obtenida de la revisión bibliográfica se definieron los siguientes criterios de elección para las matrices de decisión: a) **Polímero**: beneficios en las propiedades de la fruta, cantidad de amilosa y amilopectina presente, accesibilidad y costo. b) **Plastificante**: el sabor, la compatibilidad con el polímero, la producción de burbujas y propiedades mecánicas que aporta al recubrimiento comestible. c) **Método de aplicación**: la facilidad de aplicación, la homogeneidad del recubrimiento en la fruta con el método utilizado, el tiempo de aplicación, el grosor de recubrimiento en la fruta, la eficiencia en cuanto a tiempo y el costo de aplicación. El análisis de las matrices se realizó dando un porcentaje a cada uno de los criterios de elección escogidos, estos porcentajes deben sumar en su totalidad 100% y fueron dados a cada criterio dependiendo de su relevancia en los artículos revisados. Se asignó una calificación de un valor numérico a cada uno de los criterios de 1 a 5, siendo 1 la calificación más baja haciendo referencia a que no cumple con los parámetros mencionados anteriormente (polímero, plastificante y método de aplicación) para la elección y 5 la calificación más alta lo que indica que si cumple con los parámetros. Por último, se realizó un promedio ponderado de los criterios en cada una de las matrices, el que presentó mejor promedio fue elegido para el diseño del recubrimiento comestible.

## 7.2. Fase 2. Diseño detallado

Con el fin de determinar las condiciones del diseño experimental a emplear para la obtención del recubrimiento, se realizaron ensayos preliminares, en los cuales se hizo la evaluación de diferentes concentraciones de los componentes del recubrimiento, así como sus condiciones de proceso para la obtención del recubrimiento (tiempos y temperaturas del proceso). Como resultado de los ensayos obtenidos, se definieron las concentraciones a emplear para la obtención del recubrimiento y esto se plasmó en un diseño experimental de 10 ensayos. Una vez se obtuvo el diseño experimental se realizaron los recubrimientos por el método de casting. A partir del análisis de los resultados obtenidos, se seleccionaron los 3 mejores recubrimientos, teniendo en cuenta los siguientes criterios: formación del recubrimiento, color del recubrimiento, secado del recubrimiento y fácil desprendimiento del recubrimiento del molde usado.

Se realizó la caracterización a los tres recubrimientos seleccionados en donde se analizó la apariencia, su color, elongación, espesor, contenido de humedad y permeabilidad.

A continuación, se describirán cada una de las pruebas a aplicar en esta fase.

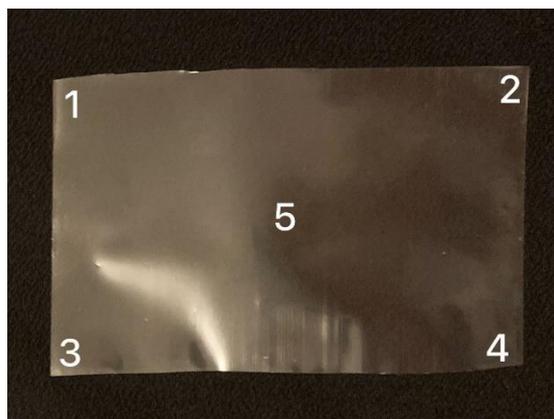
1. **Apariencia del recubrimiento:** Una vez los recubrimientos sean obtenidos por el método de casting se procedió a evaluar (a) la apariencia de este teniendo como factor principal la formación de los recubrimientos, que estos no tengan grietas y sean flexibles. (b) La calidad del recubrimiento teniendo en cuenta su fácil desprendimiento del molde y su elasticidad a la hora de retirarlo. (c) la textura del recubrimiento ya que este no puede ser viscoso, ni quebradizo y debe ser fácil de manejar para tomar más pruebas de caracterización.
2. **Medición de color:** El parámetro de color se midió empleando un colorímetro Minolta CM 2500d y siguiendo la metodología descrita por Murillo et al. (2011). Para esta medición se realizó la toma de datos en dos puntos distintos de las muestras de recubrimiento, y se obtuvieron los parámetros L, a y b. El parámetro L\* proporciona un valor de la luminosidad o brillo de la muestra. El parámetro a\* indica la zona de variación entre el rojo (valores positivos) y el verde (valores negativos) del espectro. El parámetro b\* se refiere a la zona de variación entre el amarillo (valores positivos) y el azul (valores negativos) del espectro. Los datos se reportan como media  $\pm$  desviación estándar de 8 mediciones (4 réplicas con dos mediciones por réplica) por cada tratamiento.

3. **Índice de color:** El índice de color se calculó por medio de la expresión:  $IC = a * 100L * b$  donde L, a, y b son los parámetros del sistema color CIELAB. El IC\* por sus características de variación puede utilizarse como variable de control de la calidad organoléptica de alimentos (Vignoni et al., 2006):
- a) Si IC\* es negativo (-40 a -20), su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
  - b) Si IC\* es negativo (-20 a -2), su valor relaciona los colores que van desde el verde profundo al verde amarillento.
  - c) Si IC\* está entre -2 a +2, representa el amarillo verdoso.
  - d) Si IC\* es positivo (+2 a +20), se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
  - e) Si IC\* es positivo (+20 a +40), se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.
4. **Ensayo de elongación:** Se determinó la fuerza requerida para romper las muestras de recubrimiento con la ayuda del texturómetro TX  $\pm$ 700 (ver **Figura 7-3**) a una velocidad de 0,5 mm/s y una distancia de 20 mm, siguiendo la metodología utilizada por Kumar et al. (2021). Los recubrimientos se recortaron en forma rectangular, midiendo 10cm de largo por 5 cm de ancho. Los datos se reportan como media  $\pm$  desviación estándar de los tres tratamientos con 4 réplicas para cada uno.



**Figura 7-3** Prueba de tracción y elongación en recubrimiento, texturómetro TX-700  
**Fuente:** Autoría propia

5. **Prueba de espesor:** Se utilizó micrómetro digital mitutoyo de 0-25 mm con una precisión de 0,001 mm para medir el espesor de la película. El desarrollo de esta prueba se determinó teniendo en cuenta la metodología descrita por García et al., (2019). El espesor se determinó con un micrómetro midiendo 5 puntos diferentes del recubrimiento (ver **Figura 7-4**), los datos se reportan como media  $\pm$  desviación estándar de 60 mediciones (4 réplicas con cinco mediciones por replica) por cada tratamiento.



**Figura 7-4** Cinco mediciones para las cuatro réplicas de los 3 tratamientos.

**Fuente:** Autoría propia

### 7.3 Fase 3. Implementación del recubrimiento comestible

A partir de los resultados obtenidos de la fase 1 y la fase 2, se procedió a evaluar el método de aplicación del recubrimiento en la fresa por medio del método de inmersión, en donde se realizaron diferentes ensayos para determinar el número de inmersiones necesarias, el tiempo que tardaría en adherirse homogéneamente en la fresa, la temperatura de aplicación del recubrimiento y sus condiciones de secado las cuales se definieron a partir de la revisión bibliográfica realizada.

- A. **Temperatura del recubrimiento:** El recubrimiento debe estar a temperatura adecuada para ser aplicado en la fresa con el fin de evitar daños. Se midió previamente la temperatura para los tres tratamientos siguiendo la metodología de Hernández et al., (2014), quien indica que los recubrimientos pueden ser aplicados a una temperatura de 18°C. Teniendo en cuenta sus resultados se demostró que a temperatura ambiente el recubrimiento se extiende de manera homogénea en la fruta y la protege de agentes externos cumpliendo su función.
- B. **Tiempo de aplicación:** Se emplearon diferentes tiempos de aplicación para cada fresa en los cuales varío la cantidad de inmersiones y tiempos de escurrimiento. El tiempo de

aplicación de los recubrimientos varía dependiendo el tipo de recubrimiento y la fruta que se utilice. Según García et al (2019) el tiempo de aplicación del recubrimiento fue de 30 segundos haciendo solo una inmersión, pero para Oñate (2018) el tiempo de aplicación fue de 5 a 10 minutos sin variar la cantidad de inmersiones.

- C. **Temperatura de secado:** Una vez realizada la aplicación del recubrimiento en las fresas se secaron a temperatura ambiente ya que como lo indican Falconi (2016) y Yan et al (2019) las condiciones de secado de los recubrimientos en las fresas deben ser a temperatura ambiente para conservar las propiedades organolépticas ya que al exponerla a temperaturas superiores a la ambiental el recubrimiento queda muy rígido y quebradizo afectando las propiedades físicas.
- D. **Tiempo de secado:** Es muy importante establecer un adecuado tiempo de secado ya que de esto depende la adherencia del recubrimiento en la fresa. Debido a los valores variados con respecto al tiempo de secado en los diferentes artículos consultados este se definió por medio de los ensayos realizados el cual fue de 3 horas, ya que como lo indica Restrepo et al (2010) el recubrimiento puede tener un tiempo de secado de 1 hora a temperatura ambiente, pero según García et al (2019) el tiempo de secado del recubrimiento es de 2 horas a temperatura ambiente.

Después de aplicar el recubrimiento a la fresa se evaluaron los siguientes parámetros de calidad:

- Apariencia general en la fresa con el fin de determinar la mejor combinación entre los tipos de recubrimientos (3 tratamientos) seleccionados en la fase 2.
- Mejor condición de aplicación del recubrimiento en donde se utilizaron 6 fresas previamente desinfectadas para cada tratamiento las cuales posteriormente fueron almacenadas en condiciones de refrigeración (10°C).
- Funcionamiento del recubrimiento de tal forma que se tomó 6 fresas sin recubrimiento para compararlas con aquellas que si tienen recubrimiento en condiciones de refrigeración (10°C).

A continuación, se describirán cada una de las pruebas a aplicar en esta fase.

1. Evaluación del recubrimiento a la fresa: Este parámetro se analizó viendo la uniformidad del recubrimiento en la fresa al momento de sumergirla y después de que el tratamiento se secara en la fruta, evaluando la cantidad de brillo que el recubrimiento aporta en la fresa, que cambio de color presenta y que cambios se presentan en su morfología en cuanto a pérdida de agua.

2. Apariencia general: Se observó cada dos días el cambio de olor, brillo y color de la fresa con recubrimiento en condiciones de almacenamiento, además se comparó con la apariencia de las fresas sin recubrimiento también en las mismas condiciones, con el fin de determinar la efectividad del recubrimiento en la fruta.

Una vez se realizaron y analizaron estas pruebas con cada tratamiento establecidos en la fase 2 se determinó finalmente la formulación del recubrimiento que será utilizada en la fase 4.

#### **7.4 Fase 4. Evaluación del recubrimiento**

Teniendo en cuenta las condiciones de obtención del recubrimiento y del método de aplicación definidos en la fase anterior, se procedió a evaluar el efecto del recubrimiento en la estabilidad de la fresa en el almacenamiento, para lo cual se tomaron 6.000 g de fresa en estado de maduración media, 30% verde y 70 % roja, las cuales fueron previamente desinfectadas con un desinfectante orgánico PQP y lavadas nuevamente para quitar el exceso de desinfectante. Luego se dividió en dos grupos, fresa sin recubrimiento (muestra control) y fresa con recubrimiento, a esta última se le aplicó el recubrimiento bajo las condiciones establecidas en la fase 3. Posteriormente, se procedió a empacar 5 fresas en empaques plásticos tipo PET de 250g, se obtuvieron 7 cajas por cada grupo (con y sin recubrimiento), estas fueron marcadas con los días correspondientes a la evaluación y apiladas en dos canastillas. A fin de imitar el proceso por daño mecánico a causa del transporte se realizó una simulación a escala del transporte, se hizo por medio de un carro particular el cual estuvo cargado con las fresas empacadas y refrigeradas a 10°C en una nevera térmica para mantener la temperatura y haciendo control de la misma. Se realizaron 2 recorridos, el primero se realizó desde la Granja El Atardecer ubicada en Tenjo en donde se compraron las fresas a la Universidad El Bosque que funcionará como centro de acopio en donde se hará la transformación del producto para ser comercializado. Luego, las fresas fueron transportadas hacia la Universidad Nacional, para posteriormente ser caracterizadas. Al hacer las simulaciones se tomó el tiempo de duración de cada uno de los trayectos y el recorrido para poder evaluar los daños mecánicos presentes en la fruta.

Después de finalizado el proceso de simulación, se procedió a evaluar visualmente si se presentó algún cambio en las muestras de fresa después del proceso de transporte. Luego las fresas empacadas fueron almacenadas bajo condiciones de refrigeración a 5°C durante 15 días. Cada 3 días se realizó el seguimiento del comportamiento de las fresas para lo cual se evaluaron los siguientes parámetros: pérdida de agua, color, fuerza máxima de penetración, pH, brix y acidez titulable. Los resultados de esta evaluación fueron analizados estadísticamente.

A continuación, se describe cada una de las pruebas de calidad realizadas para las muestras de fresas con y sin recubrimiento.

1. Pérdida de peso: Se realizó mediante la diferencia entre pesos, tomando como base el peso inicial (día 1) de cada caja para fresas con y sin recubrimiento menos el peso de la caja reportado para cada día de la evaluación (2, 5, 7, 9 y 14). El resultado se expresó como porcentaje de pérdida de peso (%).

$$\% \text{ perdida de peso} = \left( \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso actual}}{\text{Peso inicial}} \right) * 100$$

2. Apariencia general: Esta prueba se realizó siguiendo la metodología de Vignesh & Nair, (2019), comparando visualmente las muestras con y sin recubrimiento, y analizando la diferencia en cuanto al brillo, color y la turgencia que presentaron las fresas, así mismo si alguna muestra tiene la presencia de algún microorganismo. Se tomo evidencia fotográfica con una cartulina negra de fondo.
3. Textura: La fuerza de punción se midió empleando la metodología descrita por Alcántara (2009). Se tomo las 5 fresas con y sin recubrimiento de cada caja correspondientes al día de medición, y se aplicó una fuerza de 5 gr a cada una con un texturómetro AMETEK LS1, a una velocidad de 10 mm/min hasta el 50% de su altura original.
4. Color: El color se midió en dos partes diferentes para las 5 fresas correspondientes a cada caja empleando el colorímetro Minolta CM 2500d. (Murillo et al. 2011), el color de la fruta es uno de los factores más importantes para saber la calidad de la fruta. La diferencia de color  $\Delta E$  se calculó a partir de los valores medios de  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  para cada fresa con y sin recubrimiento.

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$$

donde  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  son las diferencias en los valores de L, a y b día inicial (día 2) y los días 5, 7, 9 y 14. Los datos se reportan como media  $\pm$  desviación estándar de 10 mediciones (5 réplicas con dos mediciones por replica) tanto para fresas con y sin recubrimiento correspondientes a los días de evaluación.

5. Brix: Se toman las 5 fresas con y sin recubrimiento y se licuan por aparte con una licuadora Oster. Luego se filtra el jugo obtenido empleando un pao de tela para retirar las semillas. Para la medición del Brix, se coloca con la ayuda de un gotero la muestra de jugo en el refractómetro, HANNA HI 96816, la medición se realiza por triplicado. Este

análisis se realizó teniendo como base la metodología usada por Chica (2013).

6. pH: Para este parámetro se utilizó 1 ml del jugo obtenido previamente de fresas con y sin recubrimiento, se le agregó 50 ml de agua destilada y se midió el pH de la solución con un pH-metro HANNA HI5222 por triplicado.
7. % de acidez titulable: Se pesó aproximadamente 1mL de jugo de la fruta y se mezcló con 50mL de agua destilada. Luego se procedió a titular con NaOH 0.1N en un titulador automático marca Metrohm hasta alcanzar un pH cercano a 8.3. A partir del peso de la muestra y el volumen de NaOH gastado se procedió a calcular el % acidez titulable empleando la ecuación:

$$\% \text{ de acidez} = \frac{A * B * C}{D} * 100$$

Donde,

- A. Cantidad en mL de base o NaOH gastado.
- B. Normalidad de la base usada en la titulación (0.1N)
- C. Peso equivalente expresado en gramos de ácido predominante de la fruta.
- D. Peso de la muestra en gramos.

### Análisis estadístico

Los datos fueron reportados como media  $\pm$  desviación estándar. Todos los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), y las diferencias entre medias se compararon mediante una prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) utilizando el software Statgraphics Centurion V19.

En la tabla **Tabla 7-1** se muestra la cantidad de ácido que contiene la fresa, dato importante para poder usar la ecuación del % de acidez titulable y tener un dato más conciso.

**Tabla 7-1** Cantidad de ácido crítico en la fresa

Fruta	Ácido	Peso molecular	Peso de unmol ácido	Número de iones de hidrogeno	Peso equivalente
Fresa	Cítrico	192	192 gr	3	64 gr

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1. Fase 1. Diseño Conceptual

En la **Tabla 8-1** se presentan los artículos científicos relacionados con la aplicación de recubrimiento en fresa, donde se identificaron los tipos de almidón, plastificantes y otros aditivos que se emplean en la obtención del recubrimiento. A partir de esta revisión se pudo identificar que los tipos de polímeros más empleados en los recubrimientos son los almidones, ya que permiten una mejor biodegradabilidad y barrera contra la humedad debido a sus características hidrofílicas y su rápida retrogradación. En relación con los plastificantes se puede evidenciar que se emplean en la mayoría de los estudios, el sorbitol y glicerol debido a que estos mejoran las propiedades mecánicas del recubrimiento aumentando su elasticidad y resistencia.

**Tabla 8-1** Revisión bibliográfica del tipo de polímero y plastificante que se emplean en la obtención del recubrimiento (Autoría propia).

Polímero	Tipo	Concentración	Plastificante	Concentración	Resultados	Fuente
Almidones	Yuca	1%, 2% y 3%	Sorbato de potasio	0,05% y 0,10%	Aumento la Adhesión del recubrimiento en las muestras con 0.10 % de sorbitol.	(García et al., 2010)
		3%	Sorbato de potasio	0,05%	Disminuyó su pérdida de peso (no se especifica).	(García et al., 2012)
		0, 5% y 7%	Glicerol	5%	Disminuyó el sabor desde el día 18 de almacenamiento. Su aroma no cambió hasta el día 24.	(Mota et al., 2019)
		3%	Extracto etanoico de propóleo	66 %	No se aumentó la vida útil. No presentó características relevantes que ayuden a la conservación de la fruta.	(Thomas et al., 2015)
		Almidón de yuca y quitosano 4%	Glicerol	40%	Aumento su permeabilidad al vapor de agua a $1,6 \times 10^{-5}$ g.	(Torres et al., 2017)
		2%	Glicerol	2 %	Disminuyó su pérdida de peso en un 4,49%.	(Saavedra et al., 2010)

		Almidón de yuca: 2% y quitosano al 1%	No se hace uso de plastificante	No aplica	Disminuyó su pérdida de masa de la fruta en un 6%. Aumentó la apariencia de la fruta, esto se demostró al analizar sus características sensoriales.	(Campos et al., 2021)
		10% y 20%	Glicerol	20%	Su conteo microbiano aumentó al pasar de los 6 y 8 días.	(Ruiz Medina et al., 2016)
	<b>Papa</b>	1, 3 y 5%	Glicerol	20%	Disminuyó su pérdida de peso de la fruta en un 53.01%. Este disminuía más dependiendo de la cantidad de almidón, el más significativo fue el recubrimiento con 5% de almidón.	(Pantoja et al., 2021)
		1%	Sorbitol	0.02%	Aumentó la protección de fruto en relación con daños mecánicos. Disminuyó su pérdida de agua al presentar una pérdida de peso de 18,46%.	(Oñate, 2018)
	<b>Plátano guayabo</b>	3%	Glicerol:	2%	Disminuyó su pérdida de peso en un 17%. Aumentó su vida útil por 5 días.	(García et al., 2016)
	<b>Plátano guayabo</b>	3%	Glicerol:	2%	Disminuyó su pérdida de peso en un 17%. Aumentó su vida útil por 5 días.	(García et al., 2016)

Tabla 8-2 se presenta los resultados de la matriz de decisión del polímero, en la cual se evaluó tres almidones: yuca, papa y achira. La mayor puntuación la obtuvo el almidón de yuca con un valor de 3.9, esto se debe principalmente a la accesibilidad de este producto en el mercado, porque puede encontrarse fácilmente en varios almacenes en diferentes presentaciones (desde 1 kg hasta 10 kg) y a su precio, dado que tiene un costo menor de hasta un 60% en comparación con los otros tipos de almidón.

Con respecto a la relación amilosa y amilopectina, que es un factor importante en el desarrollo de los recubrimientos, debido a que la amilosa presenta excelentes propiedades para formar películas fuertes, isotrópicas, inodoras, insípidas y sin color, y la amilopectina ayuda a generar la forma cristalina del almidón e influye en las propiedades mecánicas de los recubrimientos

(León, 2018), por lo cual se busca que los almidones tengan una relación entre 25-27% de amilosa y 80% de amilopectina. Por tanto, el almidón de yuca obtuvo una calificación de 3 en este ítem, debido a que esta relación es de 15,9 a 22,4% de amilosa, la cual es un 16.03% menor al que presenta el almidón de papa y 18.52% menor al que presenta el almidón de achira. Con base en estos resultados se definió al almidón de yuca como el polímero para el desarrollo del recubrimiento para la fresa.

**Tabla 8-2** Matriz de decisión del polímero

Polímero	Beneficios propiedades de la fruta (30%)	Relación amilosa y amilopectina (40%)	Accesibilidad (15%)	Costo (15%)	Total
Almidón de yuca	4	3	5	5	3.9
Almidón de papa	4	4	3	3	3.7
Almidón de achira	3	2	2	2	2,3

En la **Tabla 8-3** se presenta los resultados de la matriz de decisión del plastificante en la cual se evaluó 2 tipos: glicerol y sorbitol. Aunque el glicerol obtuvo la mayor puntuación, con 3.9, se utilizarán ambos. Esto se debe a que, al analizar sus propiedades y lo que pueden aportar al recubrimiento, ambos pueden brindar características similares al recubrimiento como la elasticidad, así como también, en su compatibilidad con el polímero los dos son compatibles, pero aportan diferentes propiedades al recubrimiento, por ejemplo, el glicerol afecta las cadenas del almidón, aumentando su flexibilidad y dureza (Torres et al., 2015). Además, la tensión y el constante movimiento entre las moléculas de agua al usar este plastificante hacen que se produzca menos burbujas (Mota et al., 2019).

Mientras el sorbitol reduce los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas del almidón aumentando el espacio molecular lo cual ayuda a plastificar el polímero (Figueroa et al., 2013). Con respecto al sabor, la bibliografía indica que el glicerol aporta un sabor más dulce y empalagoso en comparación con el sorbitol, el cual presenta un sabor más suave y un poco amargo (Torres et al., 2025). Con base a las propiedades que ambos compuestos pueden otorgar al recubrimiento, se decidió trabajar con los dos plastificantes.

**Tabla 8-3** Matriz de decisión del plastificante

Plastificante	Sabor(25%)	Compatibilidad con el polímero(25%)	Menor producción de burbujas (25%)	Propiedades mecánicas que aporta (25%)	Total
Glicerol	2	4	4	4	3.5
Sorbitol	4	4	2	3	3.2

Teniendo en cuenta los resultados de las matrices de decisión para los componentes del Recubrimiento comestible, se tiene que el mejor polímero a utilizar es el almidón de yuca, como plastificante el glicerol el cual tuvo una mejor puntuación, para el emulsificante se utilizara el tween 80 ya que por las propiedades que tiene se adecua de la mejor manera con el resto de componentes, y por ultimo está el aceite de canola el cual contiene lípidos que son de particular interés, ya que se encuentran en estado líquido lo que simplifica la preparación de soluciones formadoras de recubrimientos. Además, son importantes agentes bioconservantes, por lo que podrían desempeñar un doble papel cuando se incorporan a recubrimientos comestibles.

En la **Tabla 8-4** se presentan los artículos científicos relacionados con la aplicación de recubrimiento en fresa donde se identificaron los métodos de aplicación más relevantes en la implementación del recubrimiento. A partir de esta revisión, se pudo revisar las condiciones de aplicación y secado del recubrimiento para cada uno de los métodos, la manera en la que se debe aplicar el recubrimiento sin afectar las propiedades organolépticas de la fresa (color y sabor y apariencia). Con esta revisión también se analizaron las pruebas que se deben realizara cada uno de los métodos para su aplicación.

Como resultado de la búsqueda de los artículos científicos se obtuvieron 3 métodos de aplicación: Inmersión con 8 metodologías distintas, Lecho fluidizado con 1 metodología y por último, Aspersión con 5 metodologías. Cada una de estas metodologías se presentan en la **Tabla 8-4** con sus respectivos pasos, resultados y fuente.

**Tabla 8-4** Revisión bibliográfica del método de aplicación de recubrimiento en fresa.

Método de aplicación	#	Metodología de aplicación	Método de secado	Resultados	Fuente
Inmersión	1	El producto es sumergido por 90 segundos.	Se aplicó un flujo de aire caliente para eliminar el exceso del	Aplicado homogéneo. Aumento la capacidad antioxidante de la fruta entre 50 al 85 % Aumento su vida útil por 15 días.	(López, et al., 2012)
			Recubrimiento y a su vez secarlo	Aplicación sencilla.	
				No se recubrieron grandes cantidades de fruta.	
	2	Se sumergieron en los tratamientos por 30 segundos	Todas las frutas se secaron naturalmente a temperatura ambiente en una malla de alambre con aberturas de media pulgada	El método de aplicación no funciona, no se adhirió correctamente	(Thomas et al., 2015)
	3	Se hizo una inmersión durante 1 minuto en la solución filmogénica	Se secaron en moldes durante 20 minutos y se almacenaron	Aplicado homogéneo.	(Torres et al., 2015)
				El RC en la fruta eran delgados Aumento la protección de la fruta contra los daños mecánicos.	
				Aplicación sencilla. No se recubrieron grandes cantidades de fruta.	
	4	Se sumergió toda la fruta en la solución durante 2 minutos	Secado al ambiente	Aplicado homogéneo. Disminuyo su descomposición	(Torres, 2017)
				Aumentó su vida útil hasta 10 días.	
				Aplicación sencilla. No se recubrieron grandes cantidades de fruta.	

	5	Se sumergió la fresa en el RC durante 5 a 10 minutos.	se colocó en un secador durante 45 minutos de calor a baja temperatura	Aplicado homogéneo. El recubrimiento era uniforme en toda la fruta. Aplicación sencilla. Se recubrieron grandes cantidades de fruta en un largo periodo de tiempo.	(Oñate, 2018)
	6	Los frutos se sumergieron en el RC durante 30 segundos	Se secaron a 20°C, durante 2 horas.	Aplicado homogéneo. Disminuyó su pérdida de peso en un 20,08% Aplicación sencilla. No se recubrieron grandes cantidades de fruta.	(García et al., 2019).
	7	Se sumergieron las muestras durante 1 minuto	Secado al ambiente	Aplicado homogéneo. Disminuyó su pérdida de peso en un 4,49% Aplicación sencilla. No se recubrieron grandes cantidades de fruta.	(Saavedra et al., 2019)
	8	Se sumergieron en las soluciones de RC durante 30 segundos.	Se secaron a temperatura ambiente durante 1 hora	El RC no era homogéneo	(Khodaei et al., 2021)
<b>Lecho fluidizado</b>	1	El proceso de fluidización ocurre cuando un flujo de líquido se mueve hacia arriba a través de un lecho de partículas que alcanzan la velocidad adecuada para ayudar a las partículas sin desviarlas hacia la corriente líquida	Secado al ambiente	Aumentó su vida útil (no se cuanto) Aumento su olor y textura. Aplicado homogéneo, no se recubrieron grandes cantidades de fruta.	(ZAMUDI O, 2014)
			Secado al ambiente	Aplicado homogéneo. Aumento la seguridad del producto contra los daños mecánicos y agentes microbianos. Se recubrieron grandes cantidades de fruta en un largo periodo de tiempo.	(LÓPEZ, 2019)

<b>Aspersión</b>	<b>1</b>	Se hizo en la superficie de cada una de las muestras	Secado por 30 minutos aplicando aire en circulación forzada	Los RC son delgados Aplicado homogéneo. Se dificulta la aplicación debido a estudios para la boquilla.	(Escobar et al., 2014)
	<b>2</b>	Se procedió con un spray a recubrir los frutos a tratar lado por lado dejando capas finas	Secado al ambiente	Los RC delgados son delgados Los RC son uniformes Se dificulta la aplicación debido a estudios para la boquilla.	(FERNÁN DEZ et al., 2017)
	<b>3</b>	Se utilizó una lata de aspersión de 400 ml con un orificio de pico de 0,8 mm de diámetro, con aproximadamente	Secado al ambiente	Aplicado homogéneo. Aumento la seguridad del producto contra los microorganismos. Se dificulta la aplicación debido a estudios para la boquilla.	(Panhui, 2018)
	<b>4</b>	Aumenta la superficie del líquido mediante la formación de gotas y las dispensa a través de la superficie de los alimentos con un conjunto de boquillas.	Secado al ambiente	Su eficiencia en procesos con grandes cantidades es más costoso Aplicado homogéneo. Se dificulta la aplicación debido a estudios para la boquilla.	(Rajat et al., 2020).
	<b>5</b>	El RC de aplicar por medio de un spray dejándola escurrir durante un minuto	Se secó a temperatura ambiente hasta su compactación	Aplicado homogéneo. Cambios en las propiedades de la fruta. Se dificulta la aplicación debido a estudios para la boquilla.	(Pantoja et al., 2021)

Tabla 8-5 se presenta los resultados de la matriz de decisión del método de aplicación, en la cual se evaluó 3 métodos de aplicación: inmersión, lecho fluidizado y aspersion. La mayor puntuación la obtuvo el método de inmersión con un valor de 4.5, esto se debe principalmente a su facilidad de aplicación, ya que a comparación con los otros dos métodos este no necesita de ningún dispositivo o boquilla para su aplicación como si lo requiere el método de aspersion o el método de leche fluidizado (Rajat et al.2020). Aunque esto no afecte la calidad del recubrimiento o su adhesión en la fresa, sí afecta el factor económico debido a que usar estos dos métodos aumentaría el costo del proyecto.

**Tabla 8-5** Matriz de decisión del método de aplicación

	Inmersión	Lecho fluidizado	Aspersion
Aplicación(15%)	5	2	4
Cobertura total del fruto con el método aplicado (15%)	4	5	5
Tiempo de aplicación (15%)	4	5	4
Grosor evidenciado (20%)	4	4	5
Eficiencia(20%)	4	4	5
Costo de aplicación(15%)	4	1	4
<b>Total</b>	<b>4.5</b>	<b>3.5</b>	<b>4.3</b>

A pesar de que el método de inmersión no permite manejar volúmenes muy grandes de fresa como se analizó en la revisión bibliográfica, es funcional y económico en comparación de los otros 2 en donde se tienen costos adicionales por la compra (Rajat et al., 2020), además este método de aplicación puede cubrir todas las partes irregulares que se puedan encontrar. También puede mostrar que una distribución uniforme de la solución de recubrimiento en la superficie de la fruta puede ayudar a minimizar la actividad de migración de humedad en las frutas (Wigati et al., 2023). Por esta razón se eligió el método de inmersión para la aplicación del recubrimiento comestible.

## **8.2. Fase 2. Diseño detallado.**

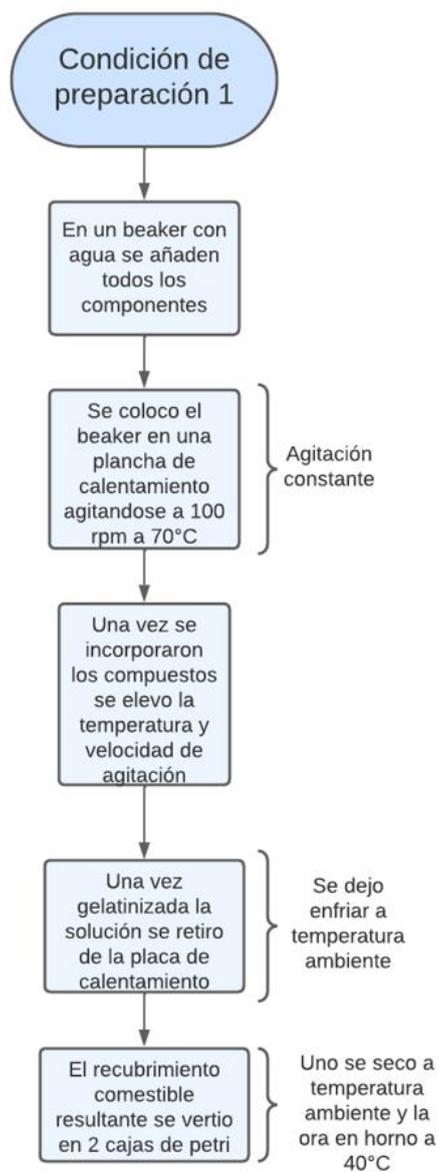
Una vez establecidos los componentes, se realizaron los ensayos preliminares de diferentes recubrimientos cambiando su método de preparación y sus concentraciones, planteando diferentes formulaciones en las cuales se analizaron factores como la temperatura, la velocidad de agitación de la solución, el orden de los compuestos al preparar la solución y el método de secado. A partir de los resultados de cada formulación, estas se fueron descartando hasta obtener una que logrará cumplir con las especificaciones requeridas para la fase de pruebas, para esto el recubrimiento debe ser transparente, elástico, sin presencia de burbujas y sabor, además debe presentar una consistencia no tan líquida y permitir obtener su solidificación en el molde después del tiempo de secado. Con base a esos ensayos se definió el diseño experimental utilizado en la elaboración del recubrimiento para el proyecto.

### **8.2.1. Condiciones de preparación planteadas en los ensayos preliminares**

En la **Tabla 8-6** se presentan los diferentes ensayos realizados, indicando la formulación empleada, el método de aplicación, la temperatura de secado empleada, junto con los resultados obtenidos y una evidencia fotográfica del recubrimiento obtenido.

Así mismo, en la **Figura 8-1**, **Figura 8-2** y **Figura 8-3** se presentan las diferentes condiciones de preparación con su respectiva descripción.

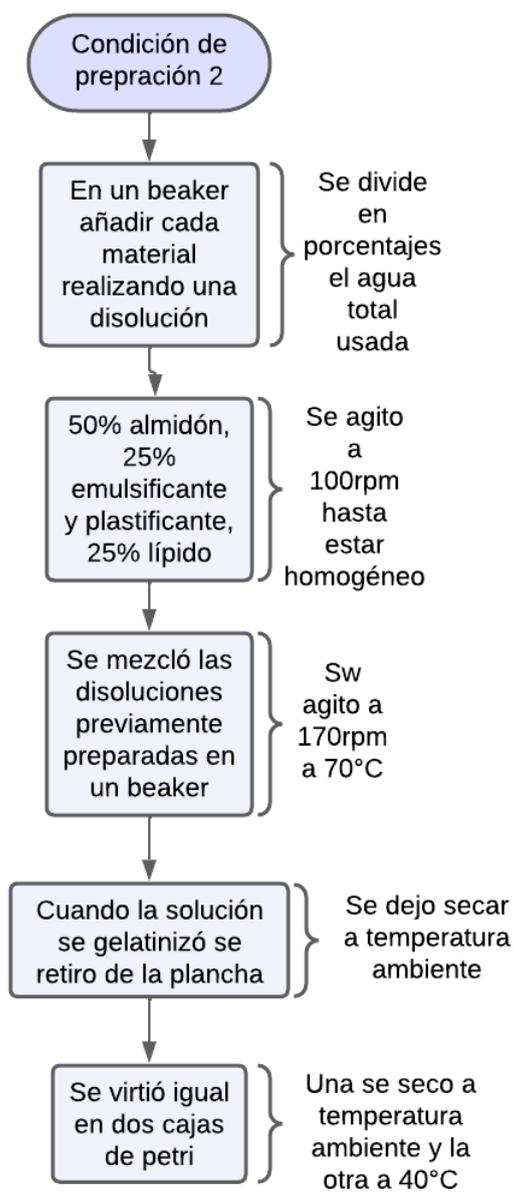
### 8.2.1.1 Condición de preparación 1



**Figura 8-4** Condición de preparación 1.

**Fuente:** Autoría propia.

### 8.2.1.2. Condición de preparación 2



**Figura 8-5** Condición de preparación 2.

**Fuente:** Autoría propia.

### 8.2.1.3. Condición de preparación 3

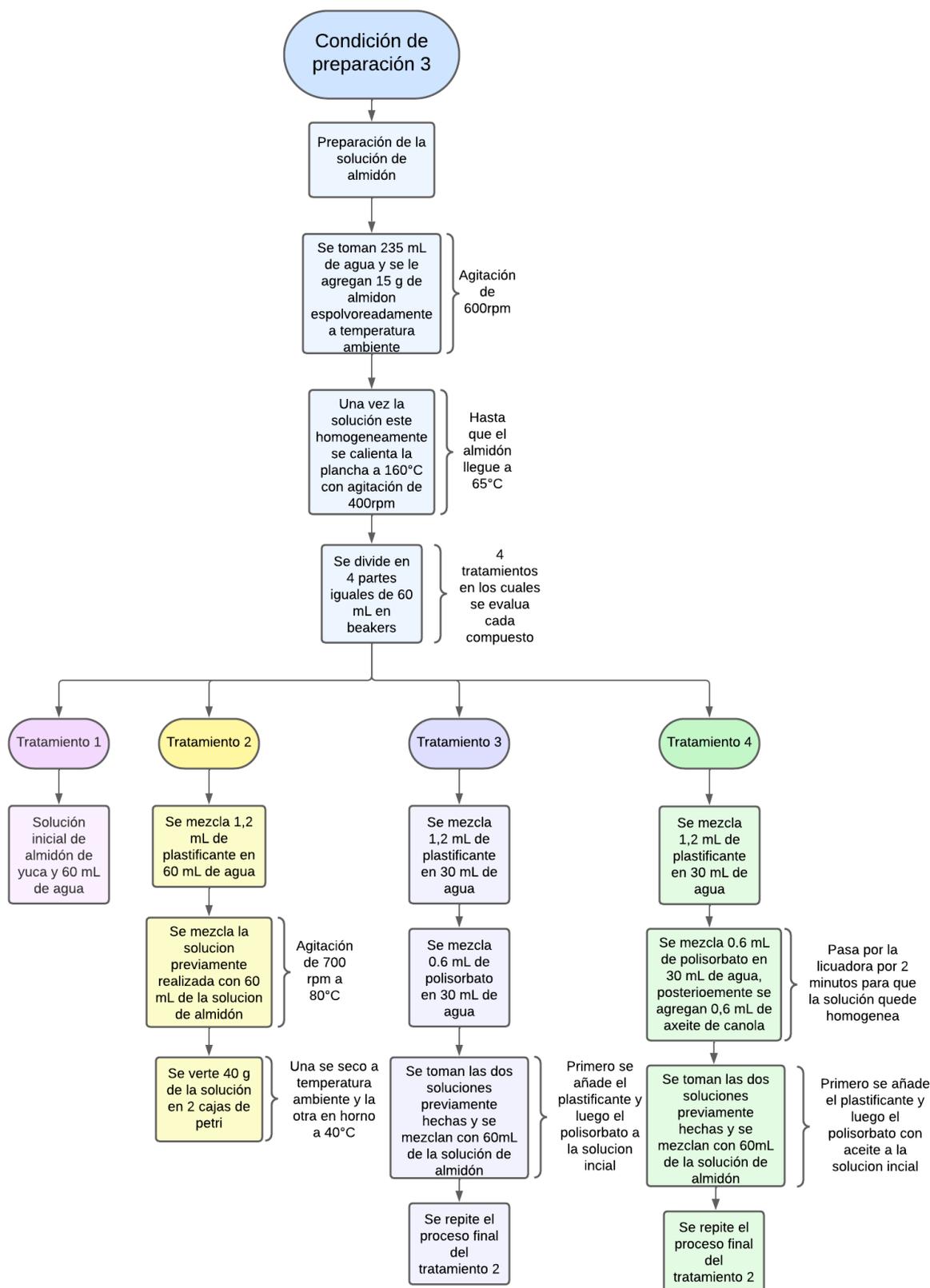
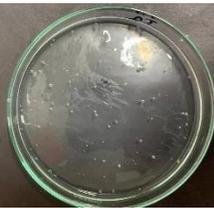
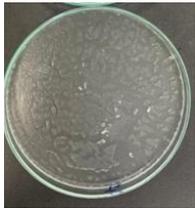
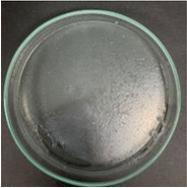


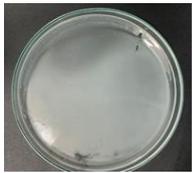
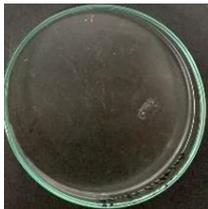
Figura 8-6. Condición de preparación 3.

Fuente: Autoría propia.

**Tabla 8-6** Resultados ensayos preliminares para el desarrollo del recubrimiento.

N°	Formulaciones	Método de preparación	Temperatura de secado	Resultado	Evidencia
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 20%</li> <li>Glicerol 6.6%</li> <li>Agua destilada 150 ml</li> <li>Polisorbato 80 3.4%</li> </ul>	1	Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad blanca</li> <li>Alto espesor</li> <li>Sabor muy dulce y desagradable.</li> </ul>	
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 14%</li> <li>Glicerol 20%</li> <li>Agua destilada 50 ml</li> <li>Polisorbato 80 4%</li> </ul>	1	Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad blanca</li> <li>Demasiado espeso</li> <li>Sabor muy dulce</li> </ul>	
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 6%</li> <li>Agua 50 ml</li> <li>Sorbitol 3%</li> <li>Polisorbato 80 1%</li> </ul>	1	Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad transparente con manchas blancas de almidón</li> <li>Burbujas a la hora de su secado</li> <li>Sabor un poco dulce.</li> </ul>	
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 14%</li> <li>Agua destilada 50 ml</li> <li>Sorbitol 20%</li> <li>Polisorbato 80 2%</li> </ul>	1	60°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coloración muy blanca</li> <li>Gran cantidad de burbujas</li> <li>Sabor dulce</li> </ul>	
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 14%</li> <li>Agua 50 ml</li> <li>Sorbitol 10%</li> <li>Polisorbato 80 2%</li> </ul>	1	60°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad blanca</li> <li>Acumulación de burbujas en el borde</li> <li>Baja elasticidad a la hora del desprendimiento del molde.</li> </ul>	

N°	Formulaciones	Método de preparación	Temperatura de secado	Resultado	Evidencia
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 4.6%</li> <li>Agua 50 ml</li> <li>Glicerol 4%</li> <li>Polisorbato 1%</li> <li>Aceite canola 0.4%</li> </ul>	1	60°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad transparente</li> <li>Poca elasticidad a la hora de retirarlo de la caja de petri</li> <li>Sabor un poco dulce</li> <li>Pocas burbujas después de su secado.</li> </ul>	
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 4%</li> <li>Agua 50 ml</li> <li>Glicerol 2%</li> <li>Polisorbato 801%</li> <li>Sorbitol 2%</li> <li>Aceite de canola 0.4%</li> </ul>	1	60°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad demasiado blanca</li> <li>No tenía sabor</li> <li>El tiempo de secado afecto dañando su consistencia, impidiendo extraerlo de la caja de petri</li> </ul>	
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 4%</li> <li>Agua 50 ml</li> <li>Glicerol 2%</li> <li>Sorbitol 2%</li> <li>Polisorbato 15</li> <li>Aceite canola 0.4%</li> </ul>	2	Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad mucho más blanca</li> <li>No presento tantas burbujas</li> <li>No tenía sabor</li> <li>Al finalizar su secado tenía una consistencia viscosa.</li> </ul>	
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 3%</li> <li>Agua 50 ml</li> <li>Sorbitol 2</li> <li>Polisorbato 801%</li> <li>Aceite canola 0.4%</li> </ul>	2	60°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad transparente</li> <li>Consistencia líquida</li> <li>Se quedo pegado en la caja de petri no se pudo probar su sabor</li> </ul>	
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 3%</li> <li>Agua 50ml</li> <li>Sorbitol 4%</li> <li>Polisorbato 10%</li> <li>Aceite canola 0,4%</li> </ul>	2	Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad blanca</li> <li>Consistencia muy líquida</li> <li>Sabor funcional ya que no sabía dulce si no que tenía más un sabor a agua.</li> </ul>	

N°	Formulaciones	Método de preparación	Temperatura de secado	Resultado	Evidencia
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 3%</li> <li>Agua 100ml</li> <li>Sorbitol 0.5 %</li> <li>Polisorbato 2 %</li> <li>Aceite canola 0,2 %</li> </ul>	2	60°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad blanca</li> <li>Consistencia totalmente líquida</li> <li>Después de su secado su tonalidad disminuyó</li> <li>Elasticidad mínima,</li> <li>Quebradizo</li> <li>No tenía sabor.</li> </ul>	
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 5.8%</li> <li>Agua 170 ml</li> <li>Glicerol 0.6%</li> <li>Polisorbato 0,35 %</li> <li>Aceite canola 0,35 %</li> </ul>	3	60°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad casi transparente</li> <li>No presenta ningún residuo líquido</li> <li>Se secó totalmente después de 30 minutos</li> <li>Elasticidad mínima</li> <li>No tenía sabor.</li> </ul>	
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 7,5%</li> <li>Agua 200 ml</li> <li>Glicerol 0.4%</li> <li>Polisorbato 0,3%</li> <li>Aceite canola 0,1%</li> </ul>	3	550°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad un poco blanca</li> <li>El tiempo de secado dañó su consistencia</li> <li>No se pudo retirar del recipiente</li> </ul>	
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 5.7%</li> <li>Agua 210 ml</li> <li>Glicerol 0.57%</li> <li>Polisorbato 0,30%</li> <li>Aceite canola 0,38%</li> </ul>	3	50°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad más blanca</li> <li>El tiempo de secado dañó su consistencia</li> <li>No tiene sabor</li> <li>Elasticidad mínima</li> </ul>	
15	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almidón 3.5%</li> <li>Agua 230 ml</li> <li>Glicerol 0.35%</li> <li>Polisorbato 0,26%</li> <li>Aceite canola 0,26%</li> </ul>	3	45°C en el horno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tonalidad totalmente transparente</li> <li>No tenía sabor</li> <li>Se secó en su totalidad</li> <li>Tenía elasticidad</li> </ul>	

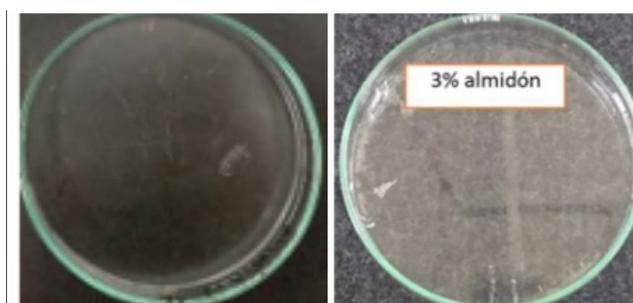
A partir de los resultados presentados en la **Tabla 8-6** se evidencia que los recubrimientos realizados con el método de preparación 1 no cumplían con las especificaciones propuestas dando como resultado una sustancia viscosa con grumos y burbujas, la cual no se secaba con uniformidad con el pasar del tiempo tanto a temperatura ambiente como en el horno a 60°C. Algunos de estos resultados se dieron debido a la mezcla de todos los materiales del recubrimiento en simultáneo y con la misma temperatura (70°C) debido a esto algunos no adquirieron sus propiedades correctamente como es el caso del almidón, el cual al añadirlo a una solución a esa temperatura sin una previa hidratación forma grumos que no se disuelven fácilmente (Pineda et al., 2010) como se puede ver en la muestra 3, también al no dejar reposar el polisorbato y el sorbitol después de agitarlos se formaron una gran cantidad de burbujas como se puede ver en las muestras 3, 4, 5 y 6, mientras que las muestras en donde se usó glicerol no presentaron tantas burbujas debido a la tensión y el constante movimiento entre las moléculas de agua al usar este plastificante causando que se produzcan menos burbujas (Mota et al., 2019) como se puede ver en la muestra 1 y 2.

Los recubrimientos comestibles realizados con el método de preparación 2 no tenían una apariencia tan viscosa, tenían una tonalidad más transparente en comparación preparados empleando el método 1 no presentaban tantas burbujas en su superficie. Todo esto debido a las diluciones hechas previamente antes de mezclar los componentes (Belo et al., 2011). Además, se evidenció que bajando la concentración de almidón el color de recubrimiento cambiaba siendo este más transparente como se puede ver en la muestra 9. Esto debido a al carácter hidrofílico del almidón, lo que favorece la retención de agua en su estructura permitiendo el paso de la luz (Arévalo et al., 2020). Al secar las muestras en el horno, a una alta temperatura genera fisuras, haciendo que el recubrimiento comestible no se pueda retirar del molde; esto se puede ver en las muestras 8, 11 y 12.

Por último, en los ensayos realizados con la condición 3 se evidenciaba una mayor transparencia en los recubrimientos comestibles a comparación de los realizados con los otros dos métodos de preparación. Además, el secado en la mayoría de los casos era más uniforme haciendo que el recubrimiento se pudiera retirar en su totalidad y con más facilidad del molde. Esto se debe a que en la condición 3 se tiene más control de los efectos que puede causar cada componente al mezclarlos, ya que al combinarlos uno por uno se puede hacer un análisis más detallado de la formación del recubrimiento comestible.

Al preparar cada componente de forma individual y a la temperatura específica, permite potencializar sus propiedades; por ejemplo, preparar el almidón a una temperatura entre un

rango de 60- 70 °C, permite su proceso de gelatinización, el cual es un proceso que provoca el hinchamiento y disrupción del granulo, lográndose la calidad deseada para el desarrollo de un recubrimiento (Pineda et al., 2010). Las fotografías se compararon visualmente con las tomadas por Arévalo et al (2020) y se evidenciaron similitudes con respecto al plastificante usado. El autor indica que los recubrimientos que se hacen con glicerol aumentan la flexibilidad y evitan que el recubrimiento se quiebre con facilidad, en la **Figura 8-7** se ve una comparación de los recubrimientos aprobados por el autor en su proyecto (foto de la derecha) y los recubrimientos realizados con el método de preparación 15 (foto de la izquierda).



**Figura 8-7** Comparación de películas realizadas en la preparación 15 con el autor Arévalo.

**Fuente:** Arévalo et al., (2020)

En la **Tabla 8-7** se muestra el diseño experimental obtenido a partir de los ensayos preliminares, consta de diez tratamientos diferentes en los que se varía los compuestos y concentraciones de los materiales empleados para el desarrollo del recubrimiento. Esto con el fin de observar cómo cambiaban sus características al ir añadiendo cada compuesto como el polímero, plastificante como glicerol (G), sorbitol (S) y mixto (M), polisorbato y aceite a la hora de realizarlo.

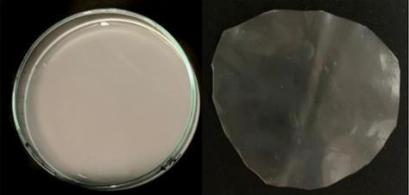
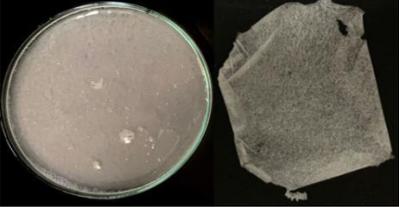
**Tabla 8-7** Diseño experimental

Tratamiento	Polímero (% P/V)	Plastificante		Polisorbato 80 (%P/V)	Aceite (%P/V)
		Tipo*	Concentración (%P/V)		
T1	3	-	-	-	-
T2	3	G*	1.0	-	-
T3	3	G*	1.0	0.5	-
T4	3	G*	1.0	0.5	0.5
T5	3	S*	1.0	-	-
T6	3	S*	1.0	0.5	-
T7	3	S*	1.0	0.5	0.5
T8	3	M*	0.5 G + 0.5 S	-	-
T9	3	M*	0.5 G + 0.5 S	0.5	-
T10	3	M*	0.5 G + 0.5 S	0.5	0.5

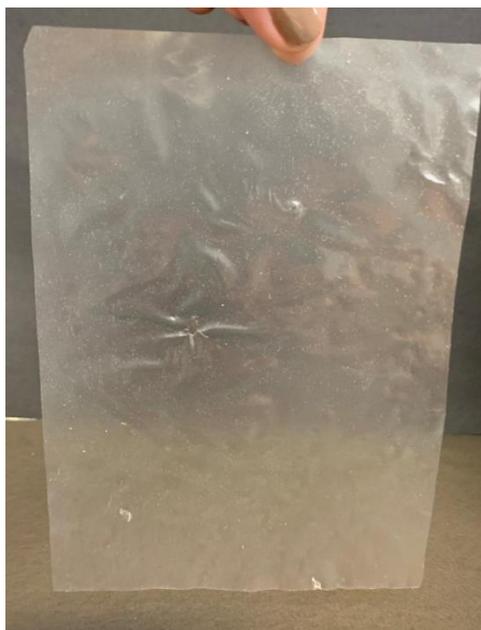
A continuación, en la **Tabla 8-8** se presenta la descripción en relación con los recubrimientos obtenidos de los 10 tratamientos del diseño experimental. La descripción corresponde a las características más relevantes en cuanto a la formación y propiedades del recubrimiento.

**Tabla 8-8 .** Descripción de resultados del diseño experimental.

N° tratamiento	Resultado	Evidencia
T1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonalidad transparente</li> <li>• No presentaba sabor</li> <li>• Lamina delgada, susceptible a quebrarse con facilidad</li> </ul>	
T2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonalidad transparente</li> <li>• Presenta sabor</li> <li>• Fácil adhesión entre si</li> <li>• Poca elasticidad</li> <li>• No fue tan fácil desprenderlo de la caja de petri</li> </ul>	
T3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta un poco de sabor</li> <li>• Presenta muchas burbujas</li> <li>• Tonalidad muy blanca</li> </ul>	
T4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonalidad un poco transparente</li> <li>• No presenta sabor</li> <li>• Presenta pocas burbujas</li> <li>• Alta elasticidad</li> </ul>	
T5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonalidad transparente</li> <li>• Presenta poco sabor</li> <li>• Fácil desprendimiento de la caja de petri</li> </ul>	
T6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta un poco de sabor</li> <li>• Presenta pocas burbujas</li> <li>• Tonalidad un poco blanca</li> <li>• Fácil desprendimiento de la caja de petri</li> </ul>	

T7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonalidad transparente</li> <li>• Presenta un poco de sabor</li> <li>• Presenta muy pocas burbujas</li> <li>• Buena elasticidad</li> </ul>	
T8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonalidad transparente</li> <li>• No presenta sabor</li> </ul> Fácil desprendimiento de la caja de petri	
T9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No presenta sabor</li> <li>• Presenta muchas burbujas</li> </ul> Tonalidad muy blanca	
T10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonalidad transparente</li> <li>• Presenta un poco de sabor</li> <li>• No presenta burbujas</li> <li>• Alta elasticidad</li> <li>• Fácil desprendimiento de la caja de petri</li> </ul>	

Se utilizaron 60 ml de recubrimiento para la obtención del recubrimiento por medio del método decasting en moldes rectangulares, para su proceso de secado los recubrimientos se dejaron en reposo por 20 minutos a temperatura ambiente para posteriormente ser vertidos en diferentes moldes previamente marcados con el número de cada tratamiento seguido de eso se introdujeron en una incubadora a 40°C por un día. Al cumplir este tiempo los recubrimientos se almacenaban dentro de la incubadora a temperatura ambiente para completar el proceso de secado de las muestras, posteriormente fueron sacados de los moldes con la ayuda de una espátula y unas pinzas, los recubrimientos presentaban grietas en los bordes debido al desprendimiento del molde, es por esto que se cortaban con la ayuda de unas tijeras para que estos fueran más uniformes (**Figura 8-8**). Por último, fueron empacados en bolsas herméticas para la elección y caracterización del mejor recubrimiento comestible.

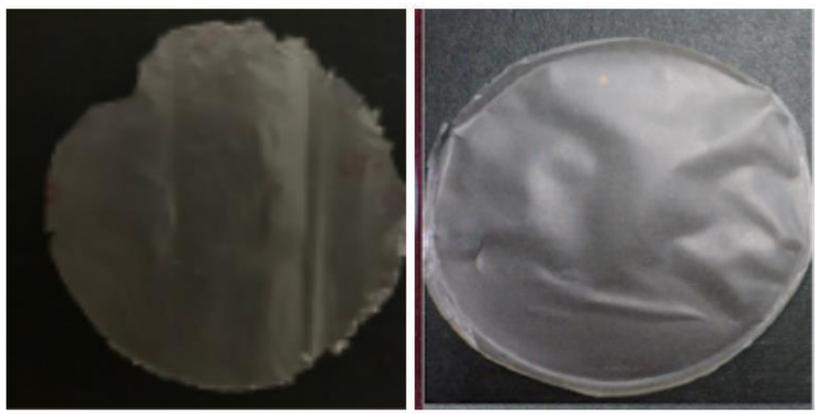


**Figura 8-9** Recubrimiento comestible listo para ser empacado en bolsa hermética.

**Fuente:** Autoría propia

Se evidenció que los tratamientos del diseño experimental mostraron diferentes resultados a medida que se agregaba o cambiaban compuestos en la formulación, pero se estableció que en todos los tratamientos el porcentaje de polímero sería el mismo (3%). Esto se debe a que en los ensayos preliminares se encontró que si se variaba la cantidad de almidón a una menor al 1% con la misma cantidad de agua el secado del recubrimiento no se iba a hacer de manera uniforme en los moldes a la hora del hacer el casting, este iba a ser más demorado debido a que a pesar de que el almidón de yuca es un polímero con alta capacidad de retención de agua si esta capacidad se supera el almidón no se gelatiniza correctamente quedando una solución líquida, la cual no se secará (Granados et al., 2014).

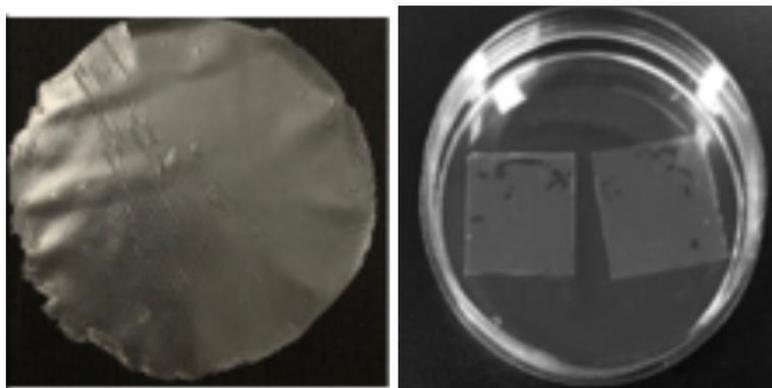
La concentración del glicerol empleada en los ensayos preliminares fue basada en el trabajo de Vázquez et al (2019) en donde se mostraban formulaciones funcionales con glicerol en las que el resultado final fue una película flexible gracias a la compatibilidad de este plastificante con el almidón de yuca. En la **Figura 8-10** se puede ver la comparación de los recubrimientos hechos con glicerol por el autor Vázquez et al (2019) (foto de la derecha) y el recubrimiento realizado siguiendo el diseño experimental definido (foto izquierda). La similitud visual entre ambos recubrimientos con respecto a su transparencia se debe al uso de concentraciones similares en la formulación de los recubrimientos comestibles. Tanto como en la formulación del autor Vázquez et al (2019) como en la que se definió se usó almidón al 3% y glicerol al 1%.



**Figura 8-11** Comparación recubrimiento de glicerol entre el autor Vázquez et al (2019) y autoría propia (izquierda).

**Fuente:** Vázquez et al (2019)

Los recubrimientos de sorbitol tienen una concentración en el diseño experimental de 1.0% de plastificante, estos presentaron firmeza y fácil desprendimiento de la caja de petri, sin embargo, eran frágiles y se rompían fácilmente. Al compararlos con los recubrimientos usados por Lim et al (2020) debido a la similitud de la formulación, la cual es de 4 ml de sorbitol en 200 ml de agua con 15 g de almidón, en esta formulación al igual que en el diseño experimental se aplican diluciones a los componentes para activar sus propiedades y se agitan a altas revoluciones a la hora de mezclar para tener soluciones homogéneas. Al comparar las películas resultantes, tanto en el artículo como en el diseño experimental planteado no se tienen diferencias visuales, esto se puede ver en la **Figura 8-12** en donde se hace la comparación de los recubrimientos hechos en el artículo (foto de la derecha) y los hechos en este trabajo de grado por el diseño experimental planteado (foto de la izquierda). Por su parte, Paulo et al (2021) indica que al utilizar al glicerol como plastificante en la elaboración de recubrimiento, estos presentan mayor resistencia a la tracción, pero disminuye su espesor y elasticidad. Este comportamiento coincide con lo que se haya en los recubrimientos elaborados con sorbitol ya que eran recubrimiento con una menor elasticidad siendo muy frágiles para su desprendimiento del molde.



**Figura 8-12** Comparación películas de sorbitol entre el autor Lim et al (2020) (derecha) y autoría propia (izquierda).

A medida que se agregó cada compuesto en la solución inicial el recubrimiento comestible no mostró mayor cambio de color ni presentaron burbujas esto debido a la ausencia de polisorbato en la mezcla, ya que este componente al ser agitado genera espuma la cual si no se deja reposar o se elimina antes de mezclar con los demás componentes puede afectar el tratamiento (Samanta, 2011), mientras que en los tratamientos (3, 4, 6, 7, 9 y 10) en donde se agrega polisorbato 80 empieza a cambiar su tonalidad a blanco, además con el polisorbato 80 se presentaron grandes cantidades de espuma, esto se debe a que sumezcla con solo agua no estaría cumpliendo su función de emulsificante pues la mezclano tiene aceite (Samanta, 2011).

A partir del análisis realizado a las 10 muestras de recubrimiento, se seleccionaron 3 tratamientos que corresponde al número 4 (3% almidón, 1% glicerol, 0.5 de polisorbato y 0.5 de aceite), número 7 (3% almidón, 1% sorbitol, 0.5 de polisorbato y 0.5 de aceite) y número 10 (3% almidón, 0.5% glicerol, 0.5% de sorbitol, 0.5 de polisorbato y 0.5 de aceite). Es importante destacar que la naturaleza específica de las interacciones dependerá de las proporciones relativas de los compuestos, las condiciones de procesamiento y otros factores específicos de la formulación. Además, algunos de estos procesos pueden ocurrir simultáneamente, contribuyendo a las propiedades finales del recubrimiento. debido a que presentaban las mejores características a nivel visual (transparencia, no presenten grietas) y elasticidad. Valencia et al (2016) en su estudio, indica que los recubrimientos comestibles que estén formulados con plastificante, emulsificante y lípido, presenta mejores propiedades mecánicas de barrera y elasticidad, y que a su vez puede impactar positivamente al ser aplicado en las frutas, ya que ayuda a reducir la senescencia del fruto y confiere propiedades protectoras con relación a la deshidratación durante el almacenamiento. Por su parte, Solano et al (2018) indica que la incorporación de emulsificantes y aceites en la formulación de un recubrimiento comestible,

previene que los alimentos recubiertos se vuelvan viscosos o pegajosos, además afirman que el emulsificante reduce la actividad del agua superficial y la velocidad en la pérdida de humedad de los alimentos recubiertos, ayudando en la preservación y aumento de su vida útil.

Debido a la presencia de los cuatro compuestos mencionados, la reacción química en la mezcla de aceite de canola, almidón, Tween 80, glicerina y sorbitol puede involucrar diversos procesos, no necesariamente una reacción directa entre todos los componentes. Cada compuesto desempeña un papel crucial debido a sus características específicas. Por ejemplo, el Tween 80 actúa como surfactante, emulsionando el aceite de canola en la mezcla y dispersándolo en pequeñas gotas en la fase acuosa, posiblemente compuesta por glicerina y agua. Además, se forman complejos inclusivos entre el almidón y el aceite de canola, afectando la textura, estabilidad y retención de agua. El glicerol y el sorbitol, por su parte, actúan como emolientes y humectantes, interactuando con el almidón y el aceite para retener la humedad y suavizar la textura del recubrimiento.

### **8.2.2. Resultados pruebas de caracterización de los Recubrimientos Comestibles.**

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas de caracterización que se realizaron a los tres mejores tratamientos.

#### **8.2.2.1. Apariencia visual**

Para la elección de los 3 mejores tratamientos del diseño experimental se analizó la apariencia visual considerando como factor principal el color del recubrimiento comestible ya que estos no deben presentar ningún color, esto afectaría directamente la apariencia de la fruta. Una vez los recubrimientos estuvieron listos se procedió a ponerlos encima de una cartulina negra (**Figura 8-13**) para determinar qué tan transparente era el recubrimiento.



**Figura 8-13.** Comparación de color del recubrimiento con una cartulina negra

**Fuente:** Autoría propia

#### **8.2.2.2. Resistencia a la elongación**

La elongación hace referencia a la elasticidad que presenta el recubrimiento comestible. Estas pruebas están relacionadas directamente con la estructura química del recubrimiento la cual cambia dependiendo del plastificante que se use (glicerol, sorbitol o mixto). Estos plastificantes son utilizados para mejorar la flexibilidad y la funcionalidad de los recubrimientos comestibles además según Solano-Doblado et al (2020) el uso de estos plastificantes en grandes concentraciones incrementa el porcentaje de elongación.

En la **Tabla 8-9** se muestran los resultados para prueba de elongación para los tratamientos 4, 8 y 10 se evidencia que estos presentan buena elongación sin embargo los recubrimientos mixtos tienen un número más alto, también mostraron un fácil desprendimiento del molde en el que se encontraban sin quebrarse esto se debe según Solano et al (2018) a que los recubrimientos tienen altas concentraciones de plastificante (1%) también a que se componen de polisorbato 80 (0,5%) y aceite (0,5%), además Valencia et al (2016) afirmaron que los recubrimientos que tienen presente estos componentes reducen su viscosidad haciendo que se despeguen más fácil del molde en el que se encuentren, además de agregar luminosidad a la muestra.

Se prepararon 5 muestras por cada tratamiento (tres tratamientos) para realizar las pruebas de caracterización.

**Tabla 8-9** Resultados prueba tracción y elongación para los tratamientos 4,7 y 10

Tratamiento	Fuerza máxima $\bar{X}$
Glicerol (T4)	6,40 N $\pm$ 0,944 <sup>a</sup>
Sorbitol (T7)	8,94 N $\pm$ 0,78 <sup>b</sup>
Mixto (T10)	9,74 N $\pm$ 0,95 <sup>b</sup>

Letras iguales en una misma columna indican que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras ( $p < 0,05$ )

**Fuente:** autoría propia

La elongación se utilizó para mostrar la capacidad de estiramiento y la flexibilidad de los recubrimientos comestibles. A partir de la caracterización de los 3 recubrimientos presentados en la **Tabla 8-9** se evidencia una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) en las características de elongación de la película comestible. Se puede evidenciar que el recubrimiento que tiene una combinación de plastificantes (sorbitol y glicerol) presenta mejores características en relación con los que están hechos a partir de un 0 plastificante. Cuando se combina el sorbitol y el glicerol, mejora significativamente la funcionalidad del recubrimiento. Esto está relacionado, con las propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión, elongación a la rotura, el tipo de plastificante y su concentración la cual influye en el espesor del recubrimiento (Sanyang et al., 2016).

De acuerdo con los resultados se puede evidenciar que los recubrimientos glicerol son frágiles y más susceptibles a romperse, esto puede confirmarse con lo dicho por Paulo et al (2021) en donde afirma que, en estudios realizados con sorbitol, este puede reemplazar al glicerol como plastificante debido a que este aumenta más la elasticidad de los recubrimientos. Esto lo confirma Sothornvit y Krochta (2009), la adición de sorbitol a una formulación reduce la fuerza intermolecular a lo largo de la cadena del polímero y esto resulta en un incremento de la flexibilidad. Se obtuvo como resultado que los recubrimientos hechos de sorbitol poseen buena fuerza máxima sin embargo estos con el tiempo tornaban rígidos haciéndolos quebradizos mientras que los recubrimientos mixtos presentan la mejor fuerza máxima siendo más fuertes y menos susceptibles a quebrarse fácil, este tiene una elasticidad elevada ya que como lo indica Fernández et al (2017) los recubrimientos mixtos presentan una mayor elasticidad debido a la combinación de las propiedades de los plastificantes glicerol y sorbitol con la estructura del almidón de yuca, causando un mayor espacio intermolecular que permite disminuir la

cristalinidad del recubrimiento ocasionando que los recubrimientos sean más flexibles y menos quebradizos, a pesar que por sí solos los dos plastificantes pueden dar una fuerza máxima promedio considerable de 6.40 N para el tratamiento hecho con glicerol y 8.94 N para el tratamiento hecho con sorbitol, como se dijo anteriormente al combinarlos esta puede aumentar de manera significativa la cual en este caso fue de 9.74 N para el tratamiento mixto, esto indica que a comparación de la elasticidad dada por los recubrimientos de solo glicerol el tratamiento mixto aumenta la elasticidad de los recubrimientos en un 34.2% contribuyendo a la formación de una matriz polimérica más rígida, el aumento de los porcentajes de elongación con el aumento de las concentraciones de plastificante se debe a la mayor inclusión de moléculas plastificantes en la matriz polimérica y a la ocupación del espacio a través de enlaces de hidrógeno, lo que interrumpe la estructura del polímero y se convierte en una estructura flexible desordenada y con mayor movilidad, mientras que al compararlo con la elasticidad de los recubrimientos comestibles hechos de solo sorbitol el tratamiento mixto aumenta la elasticidad del recubrimiento en un 8.22%  $\bar{X}$  (estos porcentajes se obtuvieron del análisis de los datos obtenidos de la prueba), confirmando lo dicho por Paulo et al (2021) y Fernández et al (2017) dándole veracidad a la prueba realizada.

### 8.2.2.3. Espesor

En la **Tabla 8-10** se muestra los resultados de la prueba de espesor realizada, en ella se muestra el tratamiento al cual se realizó la prueba, el promedio de las medidas tomadas a cada muestra (4 réplicas por tratamiento en 5 puntos diferentes) y la desviación estándar de las mismas.

**Tabla 8-10** Resultados prueba de espesor de los 3 recubrimientos escogidos.

Tratamiento	Espesor (mm)
Glicerol (T4)	0,13 ± 0,00 <sup>b</sup>
Sorbitol (T7)	0,11 ± 0,01 <sup>a</sup>
Mixto (T10)	0,15 ± 0,03 <sup>b</sup>

Letras iguales en una misma columna significan que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras ( $p < 0,05$ )

Fuente: autoría propia

Una de las características más importantes de los recubrimientos comestibles y que afecta más a los alimentos recubiertos es el espesor, ya que este factor es importante en el intercambio de

agua y gases con el ambiente, donde un incremento de la película reducirá la tasa de difusión. En la tabla 8.10 se evidencia los datos tomados para los tres tratamientos los cuales indican que no hay diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre las muestras. Los valores de espesor se relacionaron con el total de sólidos disueltos en la fórmula, lo que influyó en la matriz de película comestible derivada del almidón de yuca que aumentó la viscosidad y la concentración de polímero de la película comestible. Según Hatmi et al (2020) el espesor de los recubrimientos y películas comestibles deben ser menor a 0.25 mm, por lo cual se podría considerar que los recubrimientos realizados están dentro del rango de espesor, y por tanto no afectara las propiedades de permeabilidad del recubrimiento. En este sentido, Howard & Dewi (1995) indican que un recubrimiento grueso restringe el intercambio de gases, provocando que el etanol acumulado en el fruto aumente cambiando su sabor, dando inicio al proceso de senescencia.

La adición de plastificantes en la solución del recubrimiento hace que cambien las propiedades del mismo, al añadir glicerol en lugar de sorbitol o la combinación de los dos, este no cambia el espesor del recubrimiento, pero afecta directamente su elasticidad ya que los plastificantes actúan como moléculas pequeñas intercalando cadenas de polímeros, rompiendo los enlaces de hidrógeno y aumentando la flexibilidad del agua y los gases, al mismo tiempo que alteran su permeabilidad al vapor. La glucosa se utiliza a menudo como plastificante en películas de almidón, pero su compatibilidad con la amilosa permite mejores propiedades mecánicas y reduce las fuerzas intermoleculares entre los almidones debido a su capacidad de interferir con el empaquetamiento de la amilosa (Ballesteros et al., 2020).

Al comparar los resultados del promedio del espesor del T4 (Glicerol 1.0%) con el trabajo de Kusumaningtyas et al (2018) se evidencio que a pesar de que el autor utilizó glicerol en una cantidad de 60% del 100% de la formulación en su experimento, el espesor fue similar (0,149 mm) al obtenido en la tabla 8.9 (0,15 mm), esto debido a lo dicho anteriormente, la relación y compatibilidad que tiene el almidón con el glicerol hace que se generen enlaces entre ellos los cuales aumentan el grosor del recubrimiento hasta un 44% (Pajak et al., 2013).

El añadir una combinación de glicerol y sorbitol en la solución como se muestra en el T10 (Mixto), da como resultado un espesor de 0,148 mm, similar al reportado por Sancakli et al (2021), quien indica valores entre 0.13 y 0.18 mm. Esto indica que el recubrimiento adquirió propiedades de ambos plastificantes, aumentando la elasticidad pero no su espesor, debido a que la compatibilidad almidón-sorbitol, aunque es buena no están fuerte como la compatibilidad almidón-glicerol (Torres et al., 2015), por lo cual el espesor del recubrimiento con plastificante mixto aumentara por su contenido de glicerol pero no lo hará en gran medida (Bourtoom, 2008),

esto puede verse en los resultados de la tabla 8.9, en los que a pesar de que en ambos casos se usa la misma cantidad deplastificante, el resultado del promedio de los recubrimientos hechos solo con glicerol (0.15 mm) es mayor que los hechos de forma mixta.

#### 8.2.2.4. Prueba de color

En la **Tabla 8-11** se muestra los resultados de la medición de color tomada para los tratamientos 4, 7 y 10.

**Tabla 8-11** Resultados medición de color en recubrimiento.

Tratamientos	L	a	b	C	IC
T4	89,533 ± 0,488 <sup>a</sup>	-0,912 ± 0,067 <sup>a</sup>	5,620 ± 0,343 <sup>a</sup>	5,987 ± 0,345 <sup>a</sup>	-7,231 ± 2,863 <sup>b</sup>
T7	93,786 ± 0,338 <sup>b</sup>	-0,802 ± 0,261 <sup>a</sup>	5,859 ± 0,445 <sup>a</sup>	6,007 ± 0,400 <sup>b</sup>	-5,092 ± 1,906 <sup>a</sup>
T10	93,822 ± 0,386 <sup>b</sup>	-1,196 ± 0,066	5,987 ± 0,692	6,108 ± 0,678 <sup>b</sup>	-7,638 ± 3,316 <sup>b</sup>

Valores dentro de la misma columna con letras diferentes indica diferencia significativa ( $p < 0,05$ ), mediante el test de Tukey

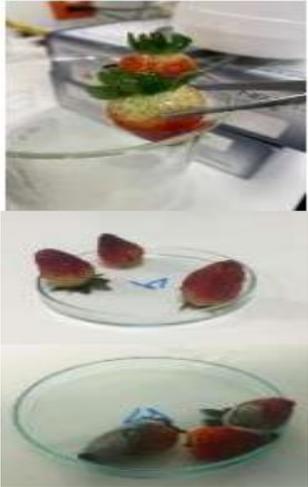
Fuente: autoría propia

En la **Tabla 8-11** se muestran los datos medidos para los parámetros L\*, a\*, b\* e IC\*. En el modelo de color CIELAB, el parámetro L\* representa la luminosidad, y un valor alto indica una mayor luminosidad o claridad. Las formulaciones estudiadas presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la luminosidad del color. Por otro lado, el índice de cromaticidad (IC) se refiere a la saturación del color. El IC fluctuó entre los valores -5 y -7, lo cual se ubica entre índices de colores verde amarillento, amarillo verdoso y amarillo con tonalidades naranja leves (Vignoni et al., 2006). Se puede inferir que al presentar un valor alto para L\* pero un índice de cromaticidad negativo, la muestra es muy clara o luminosa, pero presenta una saturación de color baja o incluso inexistente, dato similar reportado por Langroodi et al. (2021). La saturación del color (C\*) para los recubrimientos realizados con el tratamiento 7 y 10 presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Como se evidencia los parámetros a\* son negativos mientras que los parámetros b\* son positivos y no presentan diferencia significativa ( $p > 0,05$ ), esto indica que el recubrimiento tiene una intensidad de color significativa en las direcciones rojo-verde y amarillo-azul.

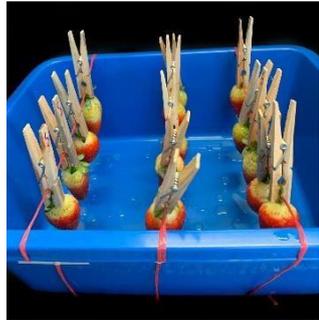
### 8.3. Fase 3. Implementación del recubrimiento comestible

Una vez obtenidos los 3 tratamientos se procedió a realizar la implementación del método de aplicación del recubrimiento en donde se evaluó la variación del tiempo en el que se mantenía la fresa sumergida en el recubrimiento y la cantidad de inmersiones necesarias. En cuanto a la temperatura del recubrimiento y la temperatura de almacenamiento una vez aplicado el recubrimiento se evaluó para establecer cuáles serían las mejores condiciones a las que el recubrimiento podría ser aplicado por el método inmersión, así mismo se analizó su temperatura de aplicación y de almacenamiento.

**Tabla 8-12.** Variación de tiempos de aplicación recubrimiento y numero de inmersiones

Método	Tiempo y temperatura de inmersión	Método y temperatura de secado	Resultado	Observaciones
1  Inmersión de fresas con pinzas	20 segundos / 20°C	Método de inmersión, secadas a temperatura ambiente puestas a escurrir con ayuda de unas pinzas por 20 minutos.	Las fresas fueron recubiertas en su totalidad. Sin embargo fueron recubiertas con un recubrimiento que no hacía parte del diseño experimental.	Se dejó las fresas por 6 días sin refrigeración, presentando microorganismos además de magulladura debido a la presión ejercida en el tálamo, además que el recubrimiento quedó muy espeso y no permitía que la fresa respirara. Las fresas fueron dejadas a temperatura ambiente en las instalaciones de Chía sin embargo al tercer día presentaron moho. Se realizó un seguimiento cada dos días.  

Método	Tiempo y temperatura de inmersión	Método y temperatura de secado	Resultado	Observaciones
2	30 segundos / 20°C	Método de inmersión, secadas a temperatura ambiente puestas a escurrir en un recipiente con una cuerda	Las fresas fueron recubiertas homogéneamente	<p>Se dejó las fresas por 6 días sin refrigeración, presentando pérdida de tamaño y brillo.</p> <p>Al quinto día presentaron microorganismos.</p> <p>Se realizó seguimiento los 2 días.</p> 
3	1 minuto/ 20°C	Método de inmersión, secadas a temperatura ambiente en un recipiente con una cuerda	Las fresas se recubrieron de manera homogénea con tiempo de secado de 20 minutos.	<p>Se dejó las fresas en refrigeración por 5 días, presentaron buena adhesión del RC y aumento el brillo de la fruta, sin embargo, estas no fueron empacadas en empaque PET, después de estar recubiertas, sino que se dejaron en la bandeja como se ve en la foto, esto hizo que, al estar colgadas del sésalo, estuvieran expuestas a una entrada fácil de microorganismos.</p> 

Método	Tiempo y temperatura de inmersión	Método y temperatura de secado	Resultado	Observaciones
4	1 minuto, 30 segundos de escurrimiento seguido de 1 minuto de inmersión/20°C	Método de inmersión, secadas a temperatura ambiente en un recipiente con una cuerda	Las fresas se recubrieron de manera más homogénea con un tiempo de secado de 30 minutos	Las fresas adquirieron brillo al ser recubiertas con el RC y presentaron una mejor característica olfativa. Estuvieron en seguimiento todos los días.  A photograph showing several strawberries suspended in a blue plastic tray. Each strawberry is held by a wooden clothespin, which is attached to a red string. The strawberries are arranged in a row, and the tray is placed on a surface.

De acuerdo con los resultados presentados en la **Tabla 8-12** se escogió el método 4 de inmersión puesto que es el que mejor se adapta a la fresa debido a que presenta una superficie irregular, en este método se hicieron variaciones en cuanto al número de inmersiones necesarias para que la fresa estuviera recubierta homogéneamente y el tiempo necesario de la misma. El método de aplicación utilizado por Mousavi et al. (2021) fue por inmersión durante 3 minutos, con un tiempo de secado de 20 minutos a una temperatura de 25°C. Filho et al. (2022) reporto resultados similares en la aplicación del recubrimiento comestible, en donde sumergieron las fresas durante 2 minutos y las secaron durante 1 hora a 25°C. Es importante tener en cuenta que a mayor tiempo de inmersión habrá una mayor cobertura de la fresa y que los tratamientos aplicados funcionan mejor si la fresa está en condiciones de refrigeración una vez esta tenga el recubrimiento comestible.

Por otro lado, se tuvo en cuenta cual sería la mejor forma para quitar el exceso de recubrimiento en la fresa una vez este estuviera aplicado, ya que al usar pinzas como se observa en el primer método de la tabla, estas ejercían presión a la fresa provocando un daño mecánico. Teniendo en cuenta lo anterior, se decidió que la mejor forma para quitar el exceso de recubrimiento es suspender las fresas en una cuerda, por medio de unos ganchos los cuales sujetan a la fresa desde el sépalo.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir del uso del cuarto método:

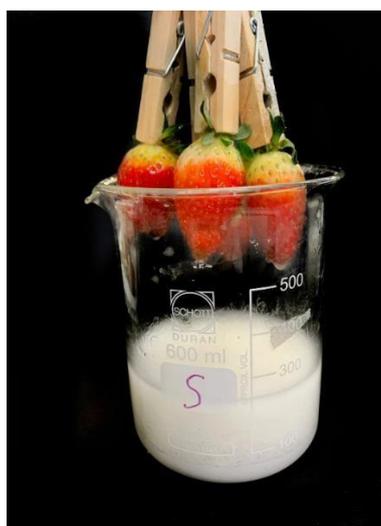


**Figura 8-14.** Fresas seleccionadas

**Fuente:** Autoría propia

Primero, las fresas fueron previamente seleccionadas y lavadas, posteriormente se procedió a hacer la inmersión con ayuda de un gancho colocado en el sépalo de cada fresa el cual estaba marcado por las letras G que corresponde al tratamiento 4, S que corresponde al tratamiento 7 y M que corresponde al tratamiento 10 (ver **Figura 8-14**).

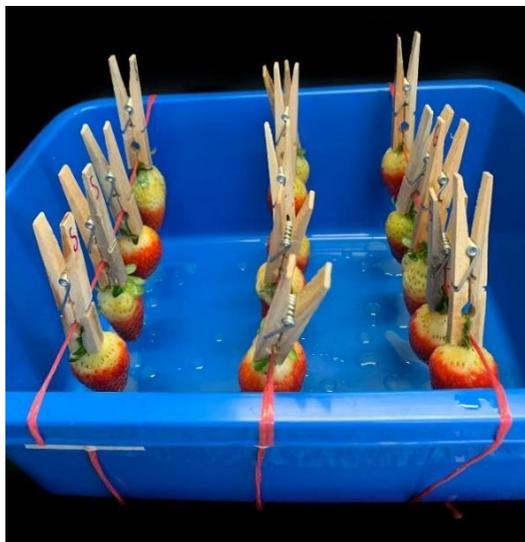
Se procedió a sumergir de a 4 fresas por 1 minuto dentro del recubrimiento comestible, luego se dejaron se dejaron escurrir por 30 segundos y nuevamente se volvió a sumergir la fresa por otro minuto (**Figura 8-15**).



**Figura 8-15** Inmersión de fresas en el recubrimiento

**Fuente:** Autoría propia

Luego de hacer la inmersión se suspendió la fresa sobre una cuerda en un recipiente, esto para escurrir el exceso del recubrimiento e iniciar su secado a temperatura ambiente por 30 minutos (ver **Figura 8-11**)



**Figura 8-16** Fresas secándose con los 3 tratamientos

**Fuente:** Autoría propia

Una vez las fresas se secaron se procedió a empacar de a 6 fresas por empaque, 2 empaques por tratamiento, marcado previamente y fueron puestas en refrigeración a 5°C. Al mismo tiempo, se empacaron 2 cajas con 6 fresas sin recubrimiento para posteriormente poder evaluar el funcionamiento (**Figura 8-17** y **Figura 8-18**).



**Figura 8-17** Fresas con y sin recubrimiento empacadas para ser refrigeradas

**Fuente:** Autoría propia



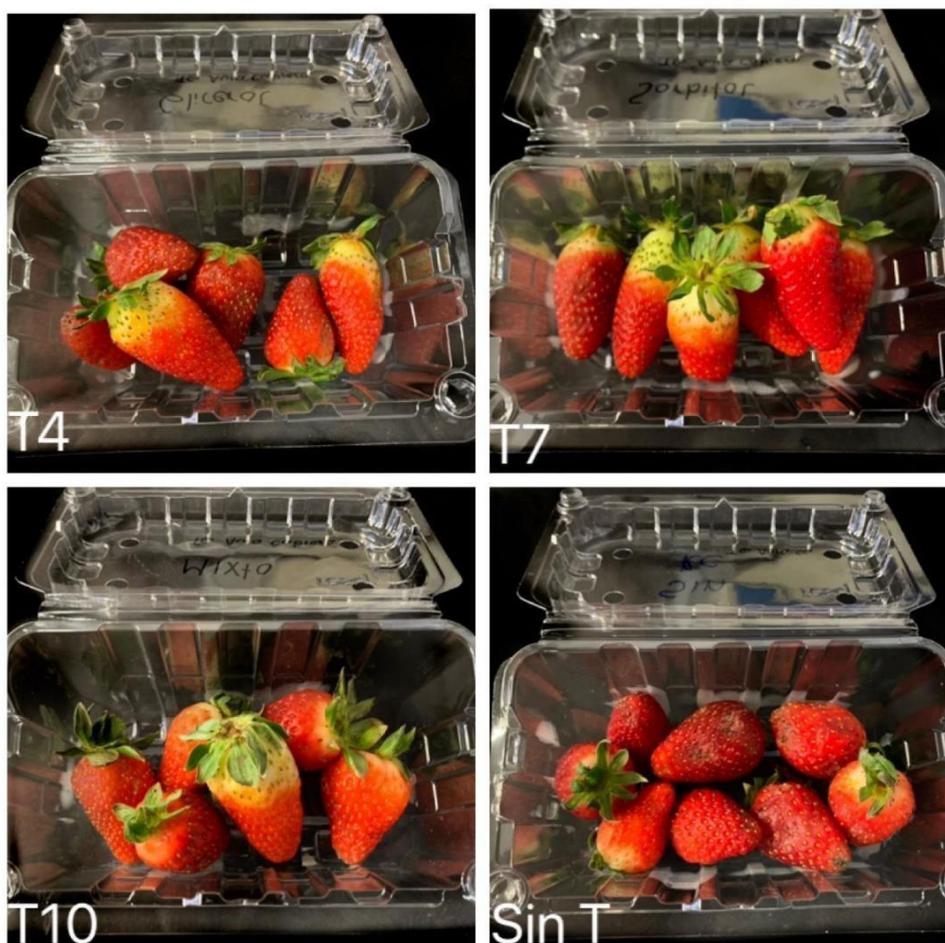
**Figura 8-18** Fresas con y sin recubrimiento refrigeradas a 5°C

**Fuente:** Autoría propia

El funcionamiento del recubrimiento en la fresa se evaluó durante 8 días en los cuales cada día se observó la apariencia general de la fruta (olor, brillo, color y sabor).

Como resultado de estas pruebas se tiene que los primeros 3 días las fresas no presentaron mayor cambio en cuanto a su color, brillo y textura. Por otra parte, en cuanto a su olor este predominaba más en las fresas que tenían recubrimiento. Al cuarto y quinto día se evidenció crecimiento microbiano en las fresas que no tenían recubrimiento. Además, presentaban pérdida de senescencia en la fresa, tenían un tamaño reducido y un color opaco.

A continuación, en la **Figura 8-19** se muestra el control realizado a las fresas con y sin recubrimiento durante 5 días en refrigeración de 5°C:

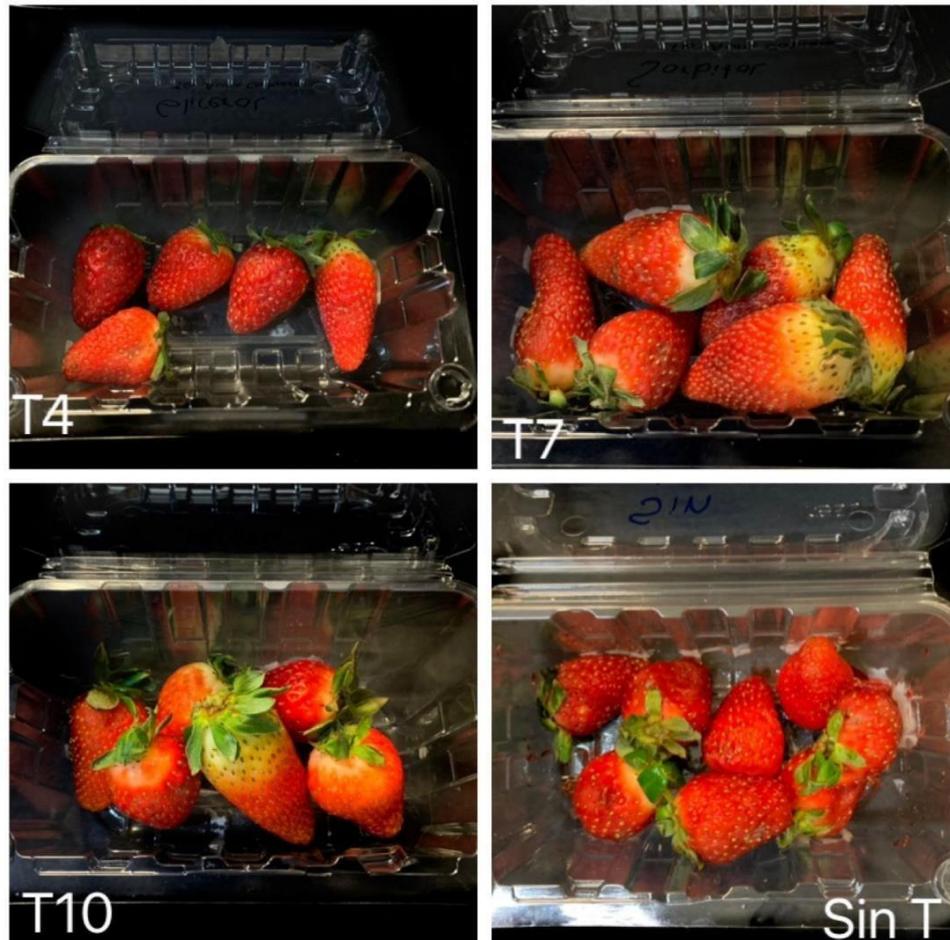


**Figura 8-19** Fresas con y sin tratamiento refrigeradas a 10°C (4, 7 y 10)

**Fuente:** Autoría propia

Como resultado de la implementación del recubrimiento en la fresa se obtuvo que haciéndolo por el método de inmersión 1 minuto con 30 segundos de escurrimiento, seguido de 1 minuto otra vez de inmersión, el recubrimiento mostró una buena adherencia a la fruta, esto se ve directamente relacionado al observar las características de la fresa como color, tamaño, brillo y olor, ya que como se puede ver en la **Figura 8-19** las fresas con recubrimiento tuvieron una mayor vida útil y así mismo menos pérdida de su senescencia. Estas fresas mantuvieron su color, aunque las fresas con glicerol y sorbitol presentaron mayor pérdida de agua y de color, mientras que las fresas recubiertas con el recubrimiento mixto presentaron menos pérdida de tamaño.

A continuación, en la **Figura 8-20**, se muestra el control de las fresas con y sin recubrimiento en el día 6 a 5°C:



**Figura 8-20** Fresas con y sin tratamiento refrigeradas a 10°C (4, 7 y 10)

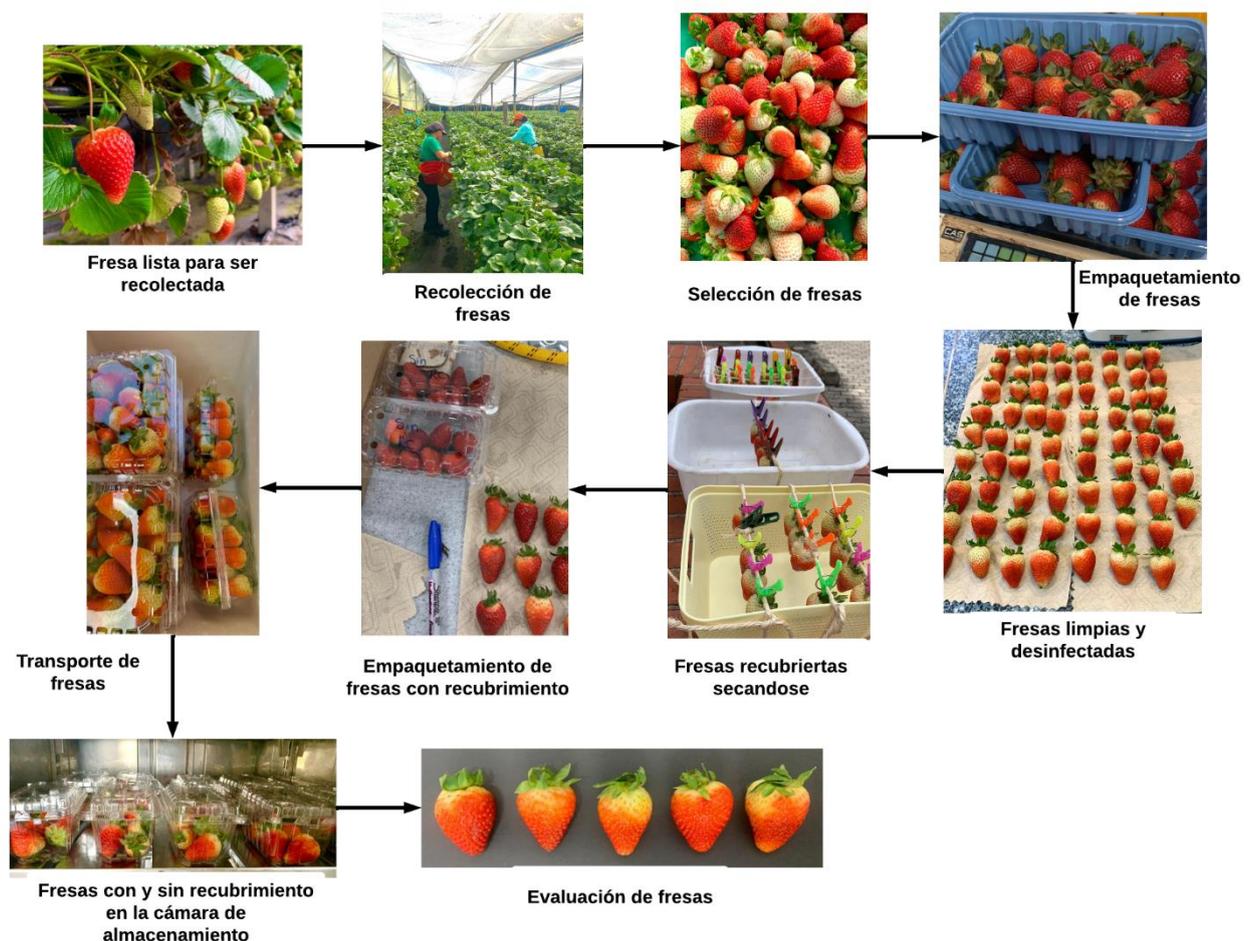
**Fuente:** Autoría propia

Para el sexto día (**Figura 8-20**) se puede observar que las muestras con tratamiento 4 muestran una mayor pérdida en cuanto a su color tendiendo a ser más oscuro y un menor tamaño, así mismo presentaron magulladuras. Para las muestras recubiertas con el tratamiento 7 se observa que no hay mayor pérdida de su color, pero si de su brillo y su tamaño sigue igual. Para las muestras recubiertas con el tratamiento 10 (recubrimiento mixto) se puede observar que presentan mejores características comparadas con los tratamientos anteriores ya que mantienen su color, su tamaño y su brillo. Por último, las muestras que no fueron recubiertas presentan efectos de magulladuras afectando directamente su color, su brillo, su textura y tamaño, también se observa el crecimiento de microorganismos los cuales acortaron su vida útil.

Una vez teniendo los resultados acerca del mejor método para recubrir las fresas (inmersión) y haber probado las diferentes combinaciones de tratamiento por 8 días en la fresa, junto con los resultados de la prueba de elongación se puede concluir que el mejor tratamiento para proceder a aplicar en la siguiente etapa es el número 10 (tratamiento Mixto). Este presenta un resultado de  $9.74N \pm 0,95 N$  en su prueba de elongación siendo superior al tratamiento de glicerol (6.4 N) y Sorbitol (8.9 N) mostrando una mejor resistencia a la tensión y elongación. Por otra parte, el tratamiento mixto presentó mejor adherencia y adaptabilidad a la fresa, brindándole protección y prolongando su vida útil.

#### 8.4. Fase 4 - Evaluación del recubrimiento

A continuación, en la **Figura 8-21** se presenta de forma esquemática el proceso general de aplicación del recubrimiento, desde la recolección de la fruta hasta el momento en que se deja la fruta en el almacenamiento.



**Figura 8-21.** Evaluación del recubrimiento comestible.

**Fuente:** Autoría propia

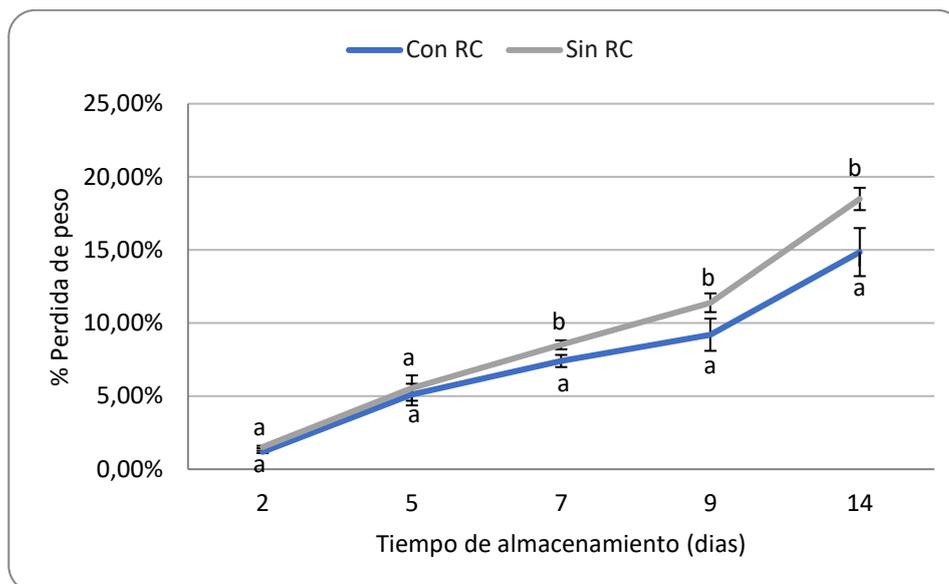
Durante el tiempo de almacenamiento se evaluó los parámetros de calidad: pérdida de peso, apariencia general, textura, color, Brix, pH y acidez titulable. A continuación, se describe el comportamiento de cada parámetro:

### **Pérdida de peso**

La pérdida de peso en sí misma se indica como uno de los factores de frescura en los productos agrícolas. Las fresas con recubrimiento y sin recubrimiento presentaron una pérdida de peso progresiva durante el almacenamiento (**Figura 8-22**). El proceso de respiración y transpiración en los productos hortofrutícolas produce una pérdida de agua. las fresas recubiertas redujeron significativamente ( $p < 0,05$ ) la pérdida de peso durante el almacenamiento en comparación con la muestra de control. Al final del período de almacenamiento las fresas con recubrimiento presentaron una pérdida del 17% en comparación con las fresas control que tuvieron una pérdida de 22%. La aceleración de la pérdida de peso está ligada a las lesiones producidas por los daños mecánicos a los que está expuesta la fruta acelerando los procesos biológicos como la respiración, la actividad enzimática y el crecimiento de microorganismos. Estas causas pueden dar lugar a un rápido aumento de la degradación en las muestras de fruta (Wigati et al., 2023).

La aplicación del recubrimiento comestible permitió reducir un 5% la pérdida de peso durante el tiempo de almacenamiento (14 días) esto indica que, ante la presencia de un recubrimiento en la superficie de la fruta, la tasa de respiración disminuye significativamente, lo que resulta en una reducción significativa en la pérdida de peso logrando retardar la deshidratación. Al compararlo con el estudio de Van et al., (2023) el cual presentó pérdida del 5,08% en 10 días de almacenamiento se evidencia que el recubrimiento realizado con el tratamiento mixto obtuvo 4 días adicionales en los que el recubrimiento redujo la pérdida de agua.

El recubrimiento comestible combinado con una fina capa de aceite puede ayudar a evitar la pérdida de humedad debido al mayor contenido de hidrofobicidad y retrasar la oxidación, lo que prolonga su frescura y vida útil, cuando es requerido un almacenamiento prolongado (Van et al., 2023).



Las letras diferentes corresponden a una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) en el tiempo de almacenamiento tratamientos para un mismo día de evaluación.

**Figura 8-22** Pérdida de peso en fresas con y sin recubrimiento almacenada a 5°C.

### Apariencia general

El color es un parámetro de calidad importante en los productos agrícolas frescos es la primera parte de la evaluación de los consumidores sobre si un producto es de buena calidad y si deciden comprarlo o no. La disminución del color de la fruta no es deseable para los productores porque resultará en una disminución de la frescura y el brillo aparentes. Antes de observar el color, las fresas que se utilizaron en este estudio tenían un color uniforme y cambiaban gradualmente durante el almacenamiento. A continuación, se muestra la evidencia fotográfica tomada de los días de prueba en condiciones de almacenamiento de 5°C.



**Figura 8-23.** Comparación fresas con y sin recubrimiento día 2 de pruebas.

**Fuente:** Autoría propia



**Figura 8-24** Comparación fresas con y sin recubrimiento día 5 de pruebas.

**Fuente:** Autoría propia



**Figura 8-25** Comparación fresas con y sin recubrimiento día 7 de pruebas.

**Fuente:** Autoría propia



**Figura 8-26** Comparación fresas con y sin recubrimiento día 9 de pruebas.

**Fuente:** Autoría propia



**Figura 8-27** Comparación fresas con y sin recubrimiento día 14 de pruebas.

**Fuente:** Autoría propia

Las fresas que se utilizaron en este estudio tenían un color uniforme y cambiaban gradualmente durante el almacenamiento pasando de un rojo brillante a un rojo opaco. Como resultado de esta evaluación de apariencia general se tiene que conforme van pasando los días, las fresas van cambiando su textura, esta no debe ser suave y libre de arrugas o áreas blandas, por el contrario, debe ser firme.

Como se puede observar en la **Figura 8-27** las fresas que no tienen recubrimiento presentaron una notoria pérdida de peso, el cual se ve reflejado en la predominancia de sus semillas. Así mismo, sus hojas tienen un cambio pues estas se van poniendo marchitas y de color verde oscuro, estas fresas presentaron magulladuras, afectando su calidad y frescura.

**Tabla 8-13** Control apariencia general de la fresa en evaluación

Día	Muestra	Brillo presente en la fruta	Cambio de color	Magulladuras	Microorganismos (Hongo)
2	Con RC	Si	No	No	No
	Sin RC	Si	No	No	No
5	Con RC	Si	No	No	No
	Sin RC	Si	No	Si	No
7	Con RC	Si	No	Si	No
	Sin RC	Poco	Si	Si	No
9	Con RC	Si	No	Si	No
	Sin RC	Muy poco	Si	Si	No
14	Con RC	Si	No	Si	No
	Sin RC	No	Si	Si	SI

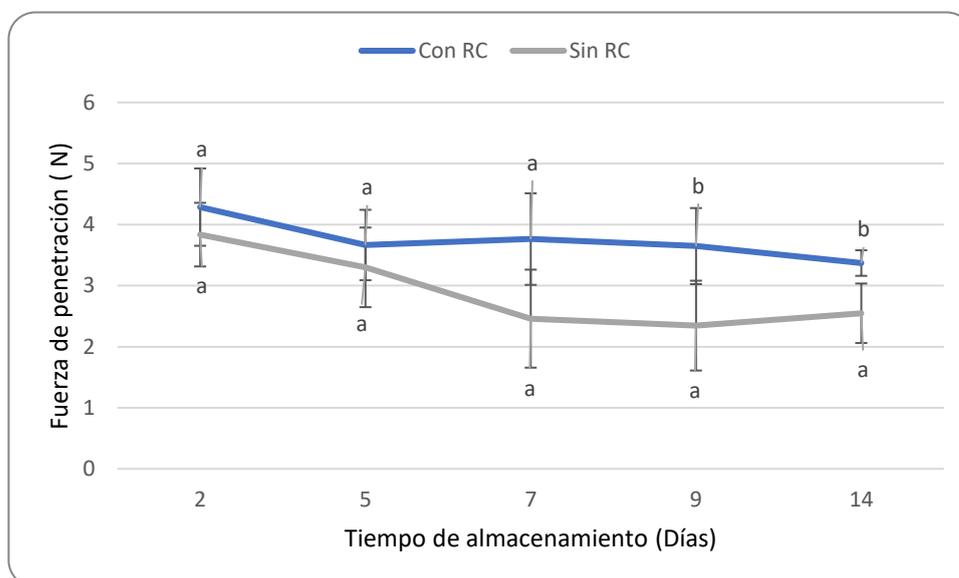
Como se puede observar en la tabla **Tabla 8-13** conforme van pasando los días las fresas empiezan a perder sus características, sin embargo, se presenta con más rapidez en las fresas que no tienen recubrimiento, estas empiezan a perder brillo desde el día 7, pérdida de peso el cual se ve reflejado en la textura de la fruta y las magulladuras son más notorias, se puede evidenciar que estas fresas tuvieron una madurez más rápida y una pérdida de senescencia. Para ninguna de las fresas se encontró la presencia de microorganismos.

#### **Textura**

El valor de firmeza de una fruta es indicativo de su frescura después del almacenamiento (Totad et al., 2019). En la **Figura 8-23** se puede observar que la firmeza mostró una tendencia decreciente en ambos tratamientos para todos los días de almacenamiento, sin embargo, se encontró una diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el deterioro de la firmeza de las fresas ya que la fuerza necesaria de penetración superficial de las fresas con recubrimiento fue mayor que la del fruto testigo después de 14 días de almacenamiento. Esto sucede cuando las paredes celulares del parénquima experimentan cambios notables durante la maduración, sus propiedades mecánicas se ven afectadas y la adhesión celular disminuye significativamente debido a la ruptura de la lámina media. Las modificaciones en la pared celular y la lámina media que provocan

el ablandamiento de la fruta son el resultado de la actividad de enzimas que modifican la pared celular. En consecuencia, la aplicación de un recubrimiento comestible en las fresas retarda la reacción bioquímica, impidiendo así la disminución de la firmeza (Shah et al., 2016).

Por lo tanto, la firmeza es un parámetro esencial para evaluar la calidad de la fruta. Los recubrimientos comestibles permiten obtener una mayor resistencia a la penetración, disminuyendo la pérdida de calidad del fruto por daño mecánico, controla la difusión de humedad y gases, reduciendo efectivamente la actividad respiratoria, dando como resultado, el retrasó el proceso de maduración (Maringgal et al., 2020).



Las letras diferentes corresponden a una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos para un mismo día de evaluación.

**Figura 8-28** Fuerza de penetración de fresas con y sin recubrimiento.

### Color

En la **Tabla 8-14**, se presentan los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  para las muestras de fresas con y sin recubrimiento. Se presentó una disminución en el valor de  $L^*$  de la superficie de la fruta de fresa durante el almacenamiento, de acuerdo con la prueba de análisis de varianza para el parámetro  $L^*$ , se evidencian diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), esta disminución fue más lenta cuando la fruta fue recubierta, mientras que el valor de  $L^*$  fue más rápida en la fruta sin recubrimiento. La disminución de los valores de

luminosidad de las frutas es un indicador del oscurecimiento que sufren durante su almacenamiento.

El tono rojo de las fresas parámetro  $a^*$  se origina a partir de la presencia de antocianinas. Estas sustancias tienen una estructura química que incluye un catión flavilio en el centro, vinculado a dos anillos aromáticos de bencilo. La intensidad del color se atribuye a la propiedad estructural resonante del catión flavilio. Sin embargo, las antocianinas son susceptibles a cambios durante el almacenamiento. Por ende, la disminución del tono rojo en las fresas, especialmente en las muestras sin recubrimiento, se asoció con una mayor degradación de las antocianinas. En comparación con las muestras recubiertas, las no recubiertas mostraron una reducción más significativa del tono rojo debido a esta mayor degradación. Este comportamiento, se debe a que el recubrimiento reduce el efecto de factores externos (luz, oxígeno, humedad, etc.) en la degradación de las antocianinas, ralentizando así la pérdida de la intensidad del color rojo (Shin et al., 2008).

El parámetro  $b^*$  presentó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre las fresas con y sin recubrimiento, aunque para ambos se presenta pérdida de amarillos conforme avanzan los días esta es mayor para las fresas que no tienen recubrimiento. Un comportamiento similar reporta Torres et al. (2015) en su estudio.

**Tabla 8-14.** Promedio y desviación coordenadas L, a y b para fresas con recubrimiento y sin recubrimiento.

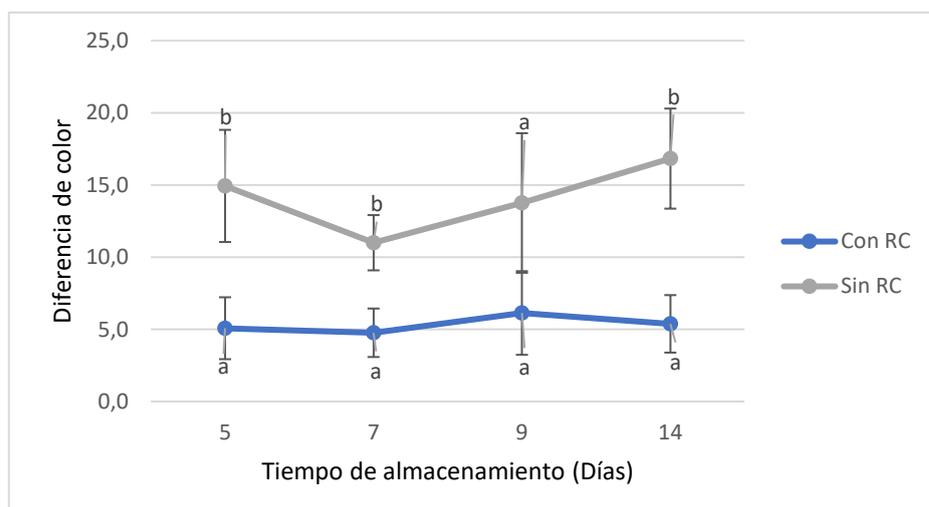
Día	L*	a*		b*		
		Con RC	Sin RC	Con RC	Sin RC	
2	39,77 ± 2,58 <sup>a</sup>	33,89 ± 2,16 <sup>b</sup>	32,47 ± 3,89 <sup>b</sup>	38,18 ± 4,22 <sup>c</sup>	32,79 ± 2,82 <sup>c</sup>	28,65 ± 5,55 <sup>c</sup>
5	38,09 ± 2,20 <sup>a</sup>	34,22 ± 1,6 <sup>b</sup>	28,46 ± 3,07 <sup>b</sup>	33,83 ± 2,85 <sup>a</sup>	30,36 ± 2,00 <sup>b</sup>	24,58 ± 2,78 <sup>b</sup>
7	39,96 ± 2,64 <sup>a</sup>	33,37 ± 1,43 <sup>b</sup>	30,64 ± 4,12 <sup>c</sup>	37,44 ± 5,71 <sup>b</sup>	28,27 ± 3,22 <sup>a</sup>	25,07 ± 6,14 <sup>b</sup>
9	38,79 ± 5,69 <sup>a</sup>	29,72 ± 4,44 <sup>a</sup>	26,79 ± 3,26 <sup>a</sup>	36,8 ± 1,94 <sup>b</sup>	28,17 ± 3,31 <sup>b</sup>	22,52 ± 3,82 <sup>a</sup>
14	38,36 ± 2,60 <sup>a</sup>	32,74 ± 3,48 <sup>b</sup>	26,72 ± 3,52 <sup>a</sup>	36,28 ± 3,60 <sup>b</sup>	27,91 ± 2,84 <sup>a</sup>	23,29 ± 5,31 <sup>a</sup>

Letras iguales en una misma columna significan que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras ( $p < 0,05$ )

Fuente: autoría propia

En la **Figura 8-29** se puede observar la diferencia de color ( $\Delta E$ ) para las fresas con y sin

recubrimiento. Esta diferencia de color ( $\Delta E$ ) es una característica muy importante para evaluar la capacidad que tiene el ojo humano para distinguir las diferencias de color sin utilizar un panel de análisis sensorial. Gupta y Gupta (2011) indican que los valores de  $\Delta E$  entre 0 y 2 son imperceptibles, los valores de  $\Delta E$  en el rango de 2 a 3 son apenas perceptibles, los valores de 3 a 8 son moderadamente perceptibles y los valores por encima de 8 son marcadamente perceptibles. En la muestra sin recubrimiento durante el almacenamiento los valores oscilaron en un rango de 10 a 20 lo cual de acuerdo con el rango establecido por Gupta y Gupta (2011) indicaría que por el ojo humano es posible percibir el cambio de color que se presenta, en el caso de las muestras con recubrimiento comestible los valores de  $\Delta E$  para las fresas se mantuvieron en un rango de 4 a 6 esto quiere decir que son moderadamente perceptibles por el ojo humano indicando que el recubrimiento permite mantener el color de la fresa y no genera un efecto de la pérdida de calidad de la fruta.



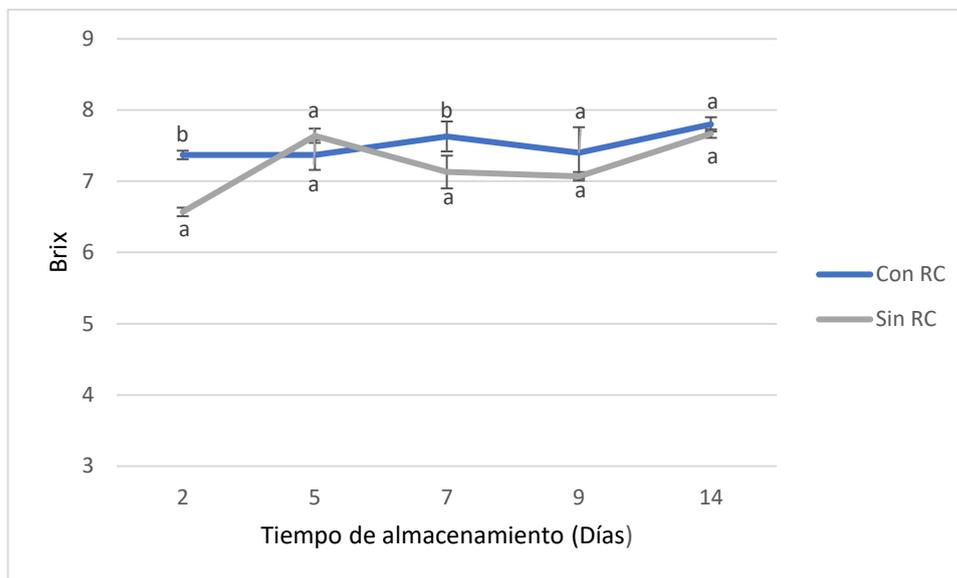
Las letras diferentes corresponden a una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos para un mismo día de evaluación.

**Figura 8-29** Diferencia de color  $\Delta E$  fresas con y sin recubrimiento.

### Brix

La aplicación del recubrimiento comestible modifica el intercambio de gases dentro de los frutos recubiertos, regulando consecuentemente el ambiente interno y reduciendo la respiración. En la **Figura 8-30** se puede observar que los SST expresados como brix, no se muestra un cambio significativo ( $p > 0.05$ ) con el tiempo de almacenamiento sin embargo las fresas que no fueron tratadas mostraron una reducción de SST la cual se debe a la disminución de los azúcares totales y puede

atribuirse a la mayor tasa de respiración de los frutos durante el almacenamiento. Estos resultados son similares a los obtenidos por Gupta et al. (2023), en donde se observó que, independientemente del recubrimiento, hubo una reducción significativa en el SST en comparación con el control.

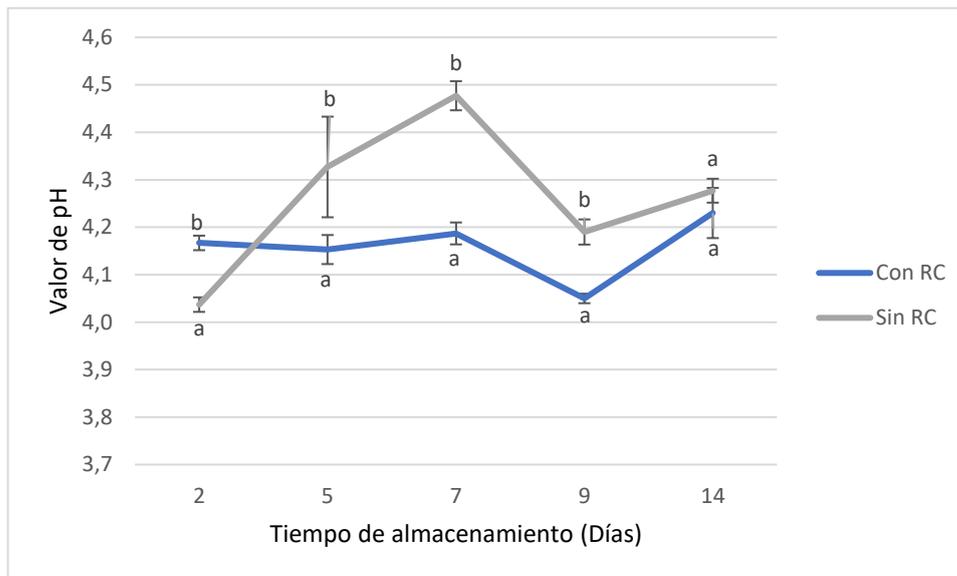


Las letras diferentes corresponden a una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos para un mismo día de evaluación.

**Figura 8-30.** Sólidos solubles totales fresas con y sin recubrimiento.

### pH

En la **Figura 8-31** se presenta el comportamiento del valor de pH de las fresas con y sin recubrimiento durante el almacenamiento. El pH es importante desde el punto de vista sensorial de las frutas, cuando el pH aumenta la percepción de dulzor también lo hace. El pH de las frutas estudiadas se encontró en el rango de 4 y 4,5 a medida que aumentaba el tiempo de almacenamiento, los valores de pH aumentaban, excepto en algunos períodos. En el caso de las fresas sin recubrimiento el valor de pH de la muestra no recubierta aumentó significativamente ( $p \leq 0,05$ ) con el tiempo, luego presenta un descenso y finaliza el día 14 con un aumento. El cambio de pH de las muestras recubiertas fue menor que el de las no recubiertas, por lo tanto, se pudo concluir que el recubrimiento mantuvo los valores de pH de las fresas según lo reportado por Hajji et al (2018) quien consideró que los compuestos alcalinos de autólisis y los metabolitos fúngicos formados por el deterioro de las fresas eran la causa del aumento del pH durante el almacenamiento.

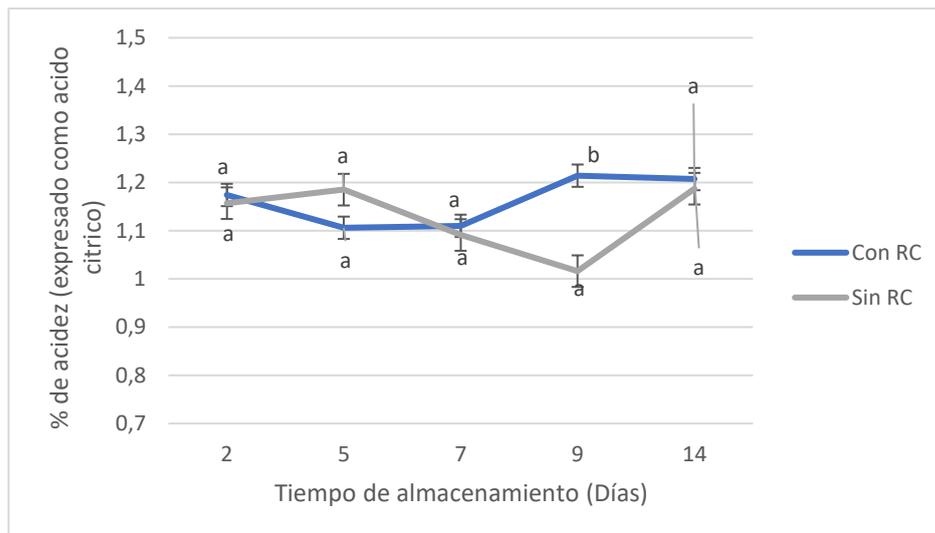


Las letras diferentes corresponden a una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos para un mismo día de evaluación.

**Figura 8-31** pH en fresas con y sin recubrimiento.

### Porcentaje acidez titulable

En la **Figura 8-32** se presenta el comportamiento de la acidez titulable durante el almacenamiento para las dos muestras de fresa (con y sin recubrimiento), donde se puede evidenciar que no hay diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) entre las muestras a excepción del día 9. Sin embargo, en términos generales la acidez titulable, se mantuvo en un rango entre 1 y 1.2%. El efecto del recubrimiento en la acidez titulable de la fresa coincide con lo reportado por Wigati et al (2023), en donde los frutos recubiertos presentaron una menor pérdida de ácido cítrico este comportamiento se asocia con la disminución del consumo de ácidos durante el proceso de respiración y esto puede ser consecuencia de la protección lograda por la aplicación de recubrimientos comestibles.



Las letras diferentes corresponden a una diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos para un mismo día de evaluación.

**Figura 8-32** Acidez titulable fresas con y sin recubrimiento.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización de esta fase 4 la cual corresponde a la evaluación del recubrimiento se tiene que el recubrimiento comestible a base de almidón tiene un impacto beneficioso el cual se ve reflejado significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre los frutos de fresa recubiertos y los de control. Se extendió la vida útil de las fresas al mejorar la firmeza, disminuir la incidencia de descomposición, y la pérdida de peso ocasionada por los daños mecánicos durante la postcosecha así mismo retraso la madurez de la fruta la cual se ve reflejada en los cambios de color, la acidez titulable, los SST y mantuvo el valor pH estable en función del tiempo. Por tal motivo, se puede concluir que estas películas pueden aplicarse satisfactoriamente como capas protectoras para alimentos frescos como las fresas.

## 9. CONCLUSIONES

- A partir de la revisión bibliográfica se determinó que para la elaboración de los recubrimientos comestibles en fresa para la protección de los daños mecánicos el polímero más apropiado es el almidón de yuca en combinación con plastificantes como el glicerol y sorbitol.
- Se determinó que el mejor tratamiento para usar en las fresas fue aquel que estaba compuesto por 3% P/V de polímero (almidón), una concentración de 0,5 %P/V de glicerol, 0,5%P/V de sorbitol, 0,5 %P/V de polisorbato y 0,5 %P/V de aceite de canola. Al realizar las pruebas de caracterización como apariencia visual, elongación, espesor y color este mostró mejores resultados en comparación con los otros tratamientos.
- La aplicación del recubrimiento comestible en la fresa permitió reducir la pérdida de peso en un 5% en comparación con la fresa sin recubrimiento en el mismo tiempo de evaluación, lo cual se traduce en una mejor calidad de la fruta.
- La pérdida de peso se disminuye significativamente cuando los frutos son tratados con recubrimientos comestibles así mismo, estos permiten obtener una mayor resistencia a la penetración, disminuyendo la pérdida de calidad del fruto por daño mecánico.
- Además, se observa que los recubrimientos comestibles a base de almidón no solo proporcionan una barrera física contra los daños mecánicos, sino que también ofrecen beneficios adicionales, como la biodegradabilidad y la mejora de la vida útil de los productos perecederos. Estas conclusiones respaldan la viabilidad y sostenibilidad de la aplicación de recubrimientos comestibles de almidón en diversas industrias alimentarias.
- El método de aplicación de recubrimiento comestible por inmersión destaca su eficacia en la creación de películas protectoras. Este enfoque ofrece una cobertura uniforme, facilitando la aplicación en productos alimenticios. Sin embargo, se debe tener precaución para optimizar la cantidad de recubrimiento utilizado, asegurando un equilibrio adecuado para evitar posibles problemas, como el exceso de espesor que podría afectar la calidad del recubrimiento.

## RECOMENDACIONES

- Al secar los recubrimientos comestibles, es fundamental considerar que la incubadora es el método más efectivo. No obstante, tiene limitaciones en cuanto a la cantidad simultánea, ya que su funcionamiento por condensación puede provocar el goteo de agua al secar demasiados recubrimientos, afectando la composición de las películas.
- Iniciar una investigación sobre equipos y diseños de planta para la obtención de películas comestibles sería altamente beneficioso. Aunque las investigaciones actuales han arrojado resultados prometedores, es crucial hacer que este desarrollo sea más accesible para agricultores y comerciantes.
- Las limitaciones de los recubrimientos comestibles incluyen desafíos en la aplicación a gran escala debido a problemas como la uniformidad de recubrimiento, la durabilidad durante el almacenamiento y las dificultades en el proceso de secado, especialmente al manejar grandes cantidades

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara González, M. D. L. (2009). Estimación de los daños físicos y evaluación de la calidad de la fresa durante el manejo poscosecha y el transporte simulado (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Almario, A., Durango, L., & Arizal, E. (2018). Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Espacios*, 39(53), 15.
- Arévalo, J. C. P., & Calvache, D. C. P. (2020). Recubrimiento comestible biodegradable para fresas a partir de residuos de papa y extractos de *Phytolacca americana* y *Artemisa vulgaris*. *Con-ciencia y técnica*, 4(1), 71-77.
- Avila-Sosa, R., Palou, E., Munguía, M. T. J., Nevárez-Moorillón, G. V., Cruz, A. R. N. y López- Malo, A. (2012). Actividad antifúngica por contacto con vapor de aceites esenciales agregados a películas comestibles de amaranto, quitosano o almidón. *Revista internacional de microbiología de alimentos*, 153(1-2), 66-72.
- Ballesteros-Mártinez, L., Pérez-Cervera, C., & Andrade-Pizarro, R. (2020). Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. *NFS Journal*, 20, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.06.002>
- Banquero, G. S. (1966). Teoría y práctica del recubrimiento de películas. *Revista de ciencias farmacéuticas*, 55(1), 81-89.
- Barrazueta-Rojas, S. G., Falconí, J. F., Navarro-Ojeda, M. N., Oleas-López, J. M., & Mendoza-Zurita, G. X. (2018). Pysicochemical properties and application of edible coatings in strawberry (*Fragaria x Ananassa*) preservation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(3), 8631-8641.
- Belo, I., García-Abuín, A., Gómez-Díaz, D., Navaza, J. M., & Vidal-Tato, I. (2011). Effect of Tween 80 on bubble size and mass transfer in a bubble contactor. *Chemical engineering & technology*, 34(11), 1790-1796.
- Beltrán Alban, Á. J. (2010). (Bachelor's thesis).
- Bogotá, C. D. C. (2015). Manual fresa.
- Bourtoom, T. (2008). Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend films from rice starch-chitosan. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 30(1), 149-155.
- Cagri, A., Ustunol, Z., & Ryser, E. T. (2004). Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of food protection*, 67(4), 833–848. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-67.4.833>.
- Campos, R. P., Kwiatkowski, A., & Clemente, E. (2011). Post-harvest conservation of organic strawberries coated with cassava starch and chitosan. *Revista Ceres*, 58, 554-560.
- Carmona Gallego, J. A., Cordobés Carmona, F., Guerrero Conejo, A. F., Martínez García, I., & Partal López, P. (2007). Influencia del pH y de la fuerza iónica sobre la gelificación térmica de proteínas de la yema de huevo. *Grasas y Aceites*, 58 (3), 289-296.
- Carrascosa Morelló, A. (2019). Obtención de aperitivos de manzana con efecto

probiótico mediante impregnación con *Lactobacillus paracasei* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

- Ceron, J. P. Q. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista tumbaga*, 1(5).
- Cisneros and Krochta. (2003). Dependence of Coating Thickness on Viscosity of Coating Solution Applied to. *Journal of Food Science*, 68(2), 503–510.
- Chica-Toro, F. (2013). Grados Brix y otros parámetros de cosecha en aguacate variedad Hass (*Persea americana* Mill.) en el municipio de Rionegro-Antioquia. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 26(35), 23-31.
- Cortés-Rodríguez, M., Alegría Macías, R., Cardona Velásquez, L., & Arango Tobón, J. C. (2019). Influencia de un recubrimiento comestible adicionado con calcio sobre la calidad de la mora de Castilla. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1).
- Da Silva, I. S. V., Prado, N. S., De Melo, P. G., Arantes, D. C., Andrade, M. Z., Otaguro, H., & Pasquini, D. (2019). Edible coatings based on apple pectin, cellulose nanocrystals, and essential oil of lemongrass: Improving the quality and shelf life of strawberries (*fragaria ananassa*). *Journal of Renewable Materials*, 7(1), 73.
- Delgado, K. L., Varona, G. A., Montilla, C. E., & Villada, H. S. (2016). Efecto del aditivo tween 80 y de la temperatura de procesamiento en las propiedades mecánicas de tensión de películas flexibles elaboradas a partir de almidón de yuca termoplástico. *Información tecnológica*, 27(6), 145-152.
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., & Galotto, M. J. (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), 751-756.
- Dhital, R., Mora, N. B., Watson, D. G., Kohli, P., & Choudhary, R. (2018). Efficacy of limonene nano coatings on post-harvest shelf life of strawberries. *LWT*, 97, 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.038>
- Enciso, N. A. A., & Hortua, N. S. (2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. *Nova*, 8(14), 171-182.
- Escobar, D., Sala, A., Silvera, C., Harsipe, R., & Márquez, R. (2009). Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Innotec*, (4 ene- dic), 33-36.
- Falconí Novillo, J. F. (2016). Empleo de recubrimientos comestibles en la conservación de *Fragaria xananassa* (Fresa) (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Faria Arquelau, P. B., Silva, V. D. M., Garcia, M. A. V. T., de Araújo, R. L. B., & Fante, C. A. (2019). Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. *Food Hydrocolloids*, 89, 570-578.
- Farooq, M., Azadfar, E., Rusu, A., Trif, M., Poushi, M. K., & Wang, Y. (2021). Improving the shelf life of peeled fresh almond kernels by edible coating with mastic gum. *Coatings*, 11(6), 618.

- FERNÁNDEZ, N., Echeverría, D. C., Mosquera, S. A., & Paz, S. P. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 15(2), 134-141.
- Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-57.
- Figueroa, J., Salcedo, J., & Narváez, G. (2013). Efecto de recubrimientos comestibles a base de almidón nativo y oxidado de yuca sobre la calidad de mango (Tommy Atkins). *Temas agrarios*, 18(2), 94-105.
- Filho, J. G., Albiero, B., Calisto, Í. H., Bertolo, M. R. V., Oldoni, F. C. A., Egea, M. B., Bogusz, S., De Azeredo, H. M. C., & Ferreira, M. D. (2022). Bio-Nanocomposite edible coatings based on arrowroot starch/cellulose nanocrystals/carnauba wax nanoemulsion containing essential oils to preserve quality and improve shelf life of strawberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 219, 812-823. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.049>
- Fan, P., Huber, D. J., Su, Z., Hu, M., Gao, Z., Li, M., ... & Zhang, Z. (2018). Effect of postharvest spray of apple polyphenols on the quality of fresh-cut red pitaya fruit during shelf life. *Food Chemistry*, 243, 19-25.
- Franco, M. J., Martin, A. A., Bonfim, L. F., Caetano, J., Linde, G. A., & Dragunski, D. C. (2016). Effect of plasticizer and modified starch on biodegradable films for strawberry protection. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13063. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13063>
- Gamboa Santos, J., & Campañone, L. A. (2018). Análisis digital de imágenes para evaluar el encogimiento de fresas sometidas a tecnologías emergentes de procesamiento. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5
- García-Figueroa, A., Ayala-Aponte, A., & Sánchez-Tamayo, M. I. (2019). Efecto de recubrimientos comestibles de Aloe vera y alginato de sodio sobre la calidad poscosecha de fresa. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).
- Garcia, L. C., Pereira, L. M., de Luca Sarantópoulos, C. I., & Hubinger, M. D. (2012). Effect of antimicrobial starch edible coating on shelf-life of fresh strawberries. *Packaging Technology and Science*, 25(7), 413-425.
- Garcia, L. C., Pereira, L. M., de Luca Sarantópoulos, C. I., & Hubinger, M. D. (2010). Selection of an edible starch coating for minimally processed strawberry. *Food and Bioprocess Technology*, 3, 834-842.
- García, O., & Pinzón, M. (2017). Efecto de recubrimientos de almidón de plátano guayabo (*mUSA paradisiaca* L.) en la calidad de fresas. *Alimentos hoy*, 24(39), 92-102.
- Garnida, Y., & Taufik, Y. (2022). The Effect of Edible Coating Material Formulation and Storage Long on The Response of Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) at Cooling Temperature (*Lycopersicon Esculentum* Mill). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(5), 2399- 2409.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human

- health. *Nutrirían*, 28(1), 9-19.
- Gómez-Contreras, P., Figueroa-López, K. J., Hernández-Fernández, J., Cortés Rodríguez, M., & Ortega-Toro, R. (2021). Effect of different essential oils on the properties of edible coatings based on yam (*Dioscorea rotundata* L.) starch and its application in strawberry (*Fragaria vesca* L.) preservation. *Applied Sciences*, 11(22), 11057.
  - Granados, C., ACEVEDO, D., & HERRERA, A. (2014). Propiedades funcionales del almidón de sagu (*Maranta arundinacea*). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 12(2), 90-96.
  - Guizado Urrutia, E., & Limachi Viamonte, C. (2022). Efecto del recubrimiento comestible de Uncucha (*Colocasia antiquorum*) para conservación poscosecha de fresa.
  - Gupta, G., & Gupta, T. (2011). Evaluación del efecto de diversas bebidas y materiales alimenticios en la estabilidad del color de materiales provisionales: un estudio in vitro. *Revista de odontología conservadora: JCD*, 14(3), 287–292. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.85818>
  - Gupta, V., Thakur, R., Barik, M., & Das, A. B. (2023). Effect of high amylose starch-natural deep eutectic solvent based edible coating on quality parameters of strawberry during storage. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100487>
  - Han, C., Lederer, C., McDaniel, M., & Zhao, Y. (2005). Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan-based edible coatings. *Journal of Food Science*, 70(3), S172-S178.
  - Hatmi, R. U., Apriyati, E., & Cahyaningrum, N. (2020). Edible coating quality with three types of starch and sorbitol plasticizer. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 142, p. 02003). EDP Sciences.
  - Hernández, A. E., Márquez Cardozo, C. J., Restrepo Flores, C. E., Cano Salazar, J. A., & Patiño Gómez, J. H. (2014). Application of heat treatment, edible coating and chemical dip as postharvest treatments for the conservation of fresh-cut vegetables. *Acta agronómica*, 63(1), 1-10.
  - Herrera González, J. A., Venegas González, E., & Madrigal Huendo, L. (2017). Proporciones de daños mecánicos y su efecto en calidad poscosecha de aguacate 'Hass'. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 3897-3909.
  - Higueta, C., & González, H. (2018). Normatividad de los empaques, embalajes y etiquetados (EEE) para las exportaciones colombianas de alimentos procesados a Estados Unidos. *Revista Espacios*, 39(24), 8-20.
  - Hajji, S., Younes, I., Affes, S., Boufi, S., & Nasri, M. (2018). Optimization of the formulation of chitosan edible coatings supplemented with carotenoproteins and their use for extending strawberries postharvest life. *Food Hydrocolloids*, 83, 375–392. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.013>
  - Icontec (2017). "Empaque y embalaje de frutas, hortalizas y tubérculos frescos"
  - Icontec (2018). "Frutas frescas fresas. Especificaciones".
  - Icontec (2018). "Frutas frescas variedad Chandler. Especificaciones.
  - Insight, F. (2021). ¿Qué son los emulsionantes y qué hacen en nuestros alimentos?

Food Insight. <https://spanish.foodinsight.org/ingredientes-y-nutrimientos/que-son-los-emulsionantes-y-que-hacen-en-nuestros-alimentos/>

- Jaworek, A. T. S. A., & Sobczyk, A. T. (2008). Electrospraying route to nanotechnology: An overview. *Journal of electrostatics*, 66(3-4), 197-219.
- Kader, A. A., & Rolle, R. S. (2004). The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce (Vol. 152). Food & Agriculture Org..
- Khan, I., Tango, C. N., Chelliah, R., & Oh, D. H. (2019). Development of antimicrobial edible coating based on modified chitosan for the improvement of strawberries shelf life. *Food science and biotechnology*, 28, 1257-1264.
- Khodaei, D., Hamidi-Esfahani, Z., & Rahmati, E. (2021). Effect of edible coatings on the shelf- life of fresh strawberries: A comparative study using TOPSIS-Shannon entropy method. *NFS Journal*, 23, 17-23.
- Kumar, P., Tanwar, R., Gupta, V. P., Upadhyay, A., Kumar, A., & Gaikwad, K. K. (2021). Pineapple Peel Extract Incorporated Poly(Vinyl Alcohol)-Corn Starch Film for active food Packaging: preparation, characterization and antioxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187, 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.136>
- Kusumaningtyas, R. D., Putri, R. D., Badriah, N., & Faizah, F. E. (2018). Preparation and characterization of edible film from sorghum starch with glycerol and sorbitol as plasticizers. *J. Eng. Sci. Technol*, 13, 47-55.
- Labeaga Viteri, A. (2018). Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones.
- Lafuente Aranda, G. (2017). Glicerol: síntesis y aplicaciones.
- León Virgüez, C. Recubrimientos comestibles a base de almidón con potencial aplicación en conservación de frutas.
- Lim, W. S., Ock, S. Y., Park, G. D., Lee, I. W., Lee, M. H., & Park, H. J. (2020). Heat-sealing property of cassava starch film plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100556.
- Lin, L., Peng, S., Shi, C., Li, C., Hua, Z., & Cui, H. (2022). Preparation and characterization of cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose edible film incorporating apple polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212, 155-164.
- López-Mata, M. A., Ruiz-Cruz, S., Navarro-Preciado, C., de Jesús Ornelas-Paz, J., Estrada- Alvarado, M. I., Gassos-Ortega, L. E., & Rodrigo-García, J. (2012). Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. *Biotecnia*, 14(1), 33-43.
- López Zambrano, C. F. (2019). Recubrimiento comestible de almidón de yuca y lactobacillus acidophilus microencapsulado para la conservación de papaya troceada de IV gama (Master's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Lorena Ramos-García, M., Romero-Bastida, C., & Bautista-Baños, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1).
- L.R. Howard, and T. Dewi. Sensory, microbiological and chemical quality of

minipeeled carrots as affected by edible coating treatment. *J. Food Sci.* 60: 142–144 (1995)

- Maringgal, B., Hashim, N., Tawakkal, I. S. M. A., & Mohamed, M. T. M. (2020b). Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. *Trends in Food Science and Technology*, 96, 253-267. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.024>
- Matuska, M., Lenart, A., & Lazarides, H. N. (2006). On the use of edible coatings to monitor osmotic dehydration kinetics for minimal solids uptake. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 85-91.
- Millán Villarroel, D., Romero González, L., Brito, M., & Ramos-Villarroel, A. Y. (2015). Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. *Saber*, 27(3), 454-469.
- Ministerio de agricultura (2021). Cadena de la Fresa
- Ministerio de Justicia (2016) Resolución 0224 DE 2007
- Ministerio de salud (2016) Resolución 683 DE 2012
- Mota, S. J. A., & Colivet, J. (2019). Efecto de recubrimiento comestible a base de almidón de Yuca sobre los parámetros químicos y sensoriales de cascos de Guayaba. *Cumbres*, 5(1), 137-154
- Monroy-Villagrana, A., Cano-Sarmiento, C., Alamilla-Beltrán, L., Hernández-Sánchez, H., & Gutiérrez-López, G. F. (2014). Coupled taguchi-rsm optimization of the conditions to emulsify  $\alpha$ -tocopherol in an Arabic gum-maltodextrin matrix by microfluidization. *Revista mexicana de ingeniería química*, 13(3), 679-688.
- Morillon, F. Debeaufort, G. Blond, G. Capelle, A. Voilley Factores que afectan la permeabilidad a la humedad de las películas comestibles a base de lípidos: una revisión *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42 (1) (2002), págs. 67-89
- Mousavi, S. R., Rahmati-Joneidabad, M., & Noshad, M. (2021). Effect of chia seed mucilage/bacterial cellulose edible coating on bioactive compounds and antioxidant activity of strawberries during cold storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 618-623. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.213>
- Núñez-Castellano, K., Castellano, G., Ramírez-Méndez, R., Sindoni, M., & Marin, C. (2012). Efecto del cloruro de calcio y una cubierta plástica sobre la conservación de las propiedades organolépticas de la fresa (*Fragaria X Ananassa Duch*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(1), 21-30.
- Novagric (2020). Invernaderos para Cultivo de Fresas.
- Oñate Zúñiga, L. E. (2018). Desarrollo de un recubrimiento comestible para fresa (*Fragaria x ananassa Duchesne*) en base a almidón de papa china (*Colocasia esculenta Schott*) de la variedad blanca (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos.).
- Pająk, P., Madej, M., & Krystyan, M. (2013). Edible coatings as an alternative to synthetic films. *Potravinarstvo: Scientific Journal for Food Industry*, 7(Special Issue), 200-203.
- Paulo, A. F. S., Baú, T. R., Ida, E. I., & Shirai, M. A. (2021). Edible coatings and films with incorporation of prebiotics—A review. *Food Research International*, 148, 110629.

- Palha, M. G. (2022). Análisis y futuro del sector de la fresa en Portugal. *Revista de fruticultura*, (90), 58-63.
- PL, K. (1998). Starch biosynthesis: understanding the functions and interactions of multiple isozymes of starch synthase and branching enzyme. *Trends in Glycoscience and Glycotechnology*, 10(54), 307-319.
- Paloquemao. (2020), Plaza de mercado de Paloquemao
- Pineda-Gómez, P., Coral, D. F., Arciniegas, M. L., Rorales-Rivera, A., & Rodríguez García, M. E. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y ciencia*, 6(11), 129-141.
- Pontigo-Suárez, A. G., Trejo-Márquez, M. A., & Lira-Vargas, A. A. (2015). Desarrollo de un recubrimiento con efecto antifúngico y antibacterial a base de aceite esencial de orégano para conservación de papaya 'Maradol'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 58-63
- Poling, E. B. (2012). Strawberry plant structure and growth habit. New York State Berry Growers Association, Berry Expo.
- Rasouli, M., Saba, M. K., & Ramezani, A. (2019). Inhibitory effect of salicylic acid and Aloe vera gel edible coating on microbial load and chilling injury of orange fruit. *Scientia Horticulturae*, 247, 27-34.
- Real academia española (2021) inmersión.
- Restrepo, A Cortes, M., & Rojano, B. (2009). Determinación de la vida útil de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) fortificada con vitamina E. *Dyna*, 76(159), 163-175.
- Restrepo González, G. (2015). Cdio: una gran estrategia de formación en ingeniería.
- Restrepo, J. I., & Aristizábal, I. D. (2010). Conservación de fresa (*fragaria x ananassa* duch cv. camarosa) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca sábila (*aloe barbadensis miller*) y cera de carnaúba. *Vitae*, 17(3), 252-263.
- Ribeiro, C., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., & Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 44(1), 63-70.
- Ruiz Medina, M. D. (2015). Diseño de un recubrimiento comestible bioactivo para aplicarlo en la frutilla (*Fragaria vesca*) como proceso de postcosecha (Bachelor's thesis, Quito, 2015.).
- Salas, R. G., del Río, M. M. V., & Guamán, A. A. M. (2022). El ozono y su empleo en la industria para el procesamiento y conservación de alimentos. *Universidad y Sociedad*, 14(S3), 127-135.
- Samanta, S., & Ghosh, P. (2011). Coalescence of bubbles and stability of foams in aqueous solutions of Tween surfactants. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(11), 2344- 2355.
- Sancakli, A., Basaran, B., Arican, F., & Polat, O. (2021). Effects of bovine gelatin viscosity on gelatin-based edible film mechanical, physical and morphological properties. *SN Applied Sciences*, 3, 1-11.
- Sanyang, M. L., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2016). Effect of sugar palm-derived cellulose reinforcement on the mechanical and water barrier properties of sugar palm starch biocomposite films. *BioResources*, 11(2), 4134-

4145.

- Saraiva, L. E. F., Naponucena, L. D. O. M., da Silva Santos, V., Silva, R. P. D., de Souza, C. O., Souza, I. E. G. L., ... & Druzian, J. I. (2016). Development and application of edible film of active potato starch to extend mini panettone shelf life. *LWT*, 73, 311-319.
- Shin, Y., Ryu, J., Liu, R. H., Nock, J. F., & Watkins, C. B. (2008). Harvest maturity, storage temperature and relative humidity affect fruit quality, antioxidant contents and activity, and inhibition of cell proliferation of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 49(2), 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.02.008>
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP. Revista especializada en ciencias químico- biológicas*, 21.
- Solarte-Montúfar, J. G., Díaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O., & Mejía-España, D. F. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información tecnológica*, 30(6), 35-44.
- Sothornvit, R., & Krochta, J. M. (2009). Plasticizer effect on oxygen permeability of B-Lactoglobulin films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 6298-6302. <https://doi.org/10.1021/jf000836i>
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582.
- Thakur, R., Pristijono, P., Golding, J. B., Stathopoulos, C. E., Scarlett, C. J., Bowyer, M., ... & Vuong, Q. V. (2018). Development and application of rice starch based edible coating to improve the postharvest storage potential and quality of plum fruit (*Prunus salicina*). *Scientia horticultrae*, 237, 59-66.
- Thakur, R., Pristijono, P., Bowyer, M., Singh, S. P., Scarlett, C. J., Stathopoulos, C. E., & Vuong, Q. V. (2019). A starch edible surface coating delays banana fruit ripening. *Lwt*, 100, 341-347.
- Tonelli, B. (2010). Cátedra Horticultura Cultivo de Frutilla. Consultado el, 3.
- Torres Morales, K. R., & Pájaro González, J. C. (2015). Evaluación de los daños mecánicos de la fresa variedad Albión con el uso de una película comestible durante la cadena poscosecha.
- Torres Ortiz, C. N. (2017). Estudio del efecto de recubrimientos a base de almidón y quitosano con incorporación de cera de candelilla en la vida útil de fresas cultivadas en Colombia.
- Trejo-Márquez, A., Ramos-López, K. A. R. E. N., & Pérez-Guillén, C. (2007). Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*Fragaria vesca* L.) almacenada en refrigeración. Cartagena, España: Grupo Postrecolección y Refrigeración UPCT, 978-984
- University of California, D. (2022). Fruit Spanish.
- Valencia-Chamorro, S., & Torres-Morales, J. (2016). Recubrimientos comestibles aplicados en productos de iv yv Gamma. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(2), 162-174.
- Vân, T. T. T., Phuong, N. T. H., Sakamoto, K., Wigati, L. P., Tanaka, F., & Tanaka, F.

- (2023b). Effect of edible coating incorporating sodium carboxymethyl cellulose/cellulose nanofibers and self-produced mandarin oil on strawberries. *Food Packaging and Shelf Life*, 40, 101197. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101197>
- Vázquez-Luna, A., Santiago, M., Rivadeneyra-Domínguez, E., & Díaz-Sobac, R. (2019). Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad. *CienciaUAT*, 13(2), 152-164.
  - Vega, J. S., Ruiz Cifuentes, L., & Vázquez Ardila, S. (2017). Plan de negocios para la producción y exportación de fresa orgánica.
  - Vignesh, R. M., & Nair, B. R. (2019). Improvement of shelf life quality of tomatoes using a novel edible coating formulation. *Plant Science Today*, 6(2), 84-90.
  - Wigati, L. P., Wardana, A. A., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2023). Strawberry preservation using combination of yam bean starch, agarwood aetoxylon bouya essential oil, and calcium propionate edible coating during cold storage evaluated by TOPSIS-Shannon Entropy. *Progress in Organic Coatings*, 175, 107347. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107347>
  - Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., ... & Li, L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 29-38.
  - Zamudio Castellanos, G. A. (2014). Aplicaciones de las biopelículas comestibles en la industria alimenticia.
  - Zeeman, S. C., Tiessen, A., Pilling, E., Kato, K. L., Donald, A. M., & Smith, A. M. (2002). Starch synthesis in *Arabidopsis*. Granule synthesis, composition, and structure. *Plant physiology*, 129(2), 516-529.