





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial.

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**EFFECTO DE LOS ACEITES ESENCIALES EN BIOPELÍCULAS ELABORADAS A  
PARTIR DE MATRICES POLIMÉRICAS NATURALES OBTENIDAS MEDIANTE  
TÉCNICA DE CASTING.**

**Autor:** Steeven Fernando Uquillas Guanulema

**Tutor:** Ing. Diego David Moposita Vázquez

**Riobamba - Ecuador**

**Año 2021**

## DICTAMEN DE CONFORMIDAD DEL PROYECTO ESCRITO DE INVESTIGACIÓN

**Facultad:** Ingeniería  
**Carrera:** Agroindustrial

### 1. DATOS INFORMATIVOS DOCENTE TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

|   |                           |
|---|---------------------------|
| <b>Tutor:</b> Ing. Diego David Moposita Vásquez           | <b>Cédula:</b> 0201972593 |
| <b>Miembro tribunal:</b> Dr. Mario Hernán Salazar Vallejo | <b>Cédula:</b> 0601254204 |
| <b>Miembro tribunal:</b> Ing. Paúl Stalin Ricaurte Ortiz  | <b>Cédula:</b> 0601436751 |

### 2. DATOS INFORMATIVOS DEL ESTUDIANTE

**Apellidos:** Uquillas Guanulema

**Nombres:** Steeven Fernando

**C.I / Pasaporte:** 0605135011

**Título del Proyecto de Investigación:** Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de matrices poliméricas naturales obtenidas mediante técnica de casting.

**Dominio Científico:** Desarrollo territorial, productivo y hábitat sustentable para mejorar la calidad de vida.

**Línea de Investigación:** Desarrollo e innovación de nuevos productos derivados de sistemas de producción agroindustriales.

### CALIFICACIONES

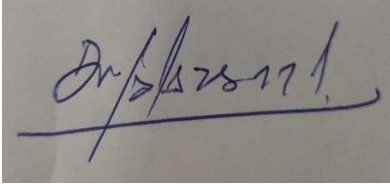
| TRIBUNAL                     | NOMBRES APELLIDOS                 | CALIFICACIÓN<br>(Letras) | CALIFICACIÓN<br>(Números) |
|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>Tutor:</b>                | Ing. Diego David Moposita Vásquez | Ocho cinco               | <b>8.5</b>                |
| <b>Miembro tribunal:</b>     | Dr. Mario Hernán Salazar Vallejo  | Diez                     | <b>10.0</b>               |
| <b>Miembro tribunal:</b>     | Ing. Paúl Stalin Ricaurte Ortiz   | Diez                     | <b>10.0</b>               |
| <b>Calificación promedio</b> |                                   | Nueve cinco              | <b>9.5</b>                |

Fundamentado en las observaciones realizadas y el contenido presentado, SI (X) / NO ( ) es favorable el dictamen del Proyecto escrito de Investigación, obteniendo una calificación de: 9.5 (Nueve cinco) sobre 10 puntos.



---

Ing. Diego Moposita  
**TUTOR**



---

Dr. Mario Salazar  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Paúl Ricaurte  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## ÍNDICE GENERAL

|  |           |
|--|-----------|
| RESUMEN .....  | VI        |
| ABSTRACT .....   | VII       |
| INTRODUCCIÓN .....   | 1         |
| <b>1 CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b> .....   | <b>3</b>  |
| <b>1.1 PROBLEMA.</b> .....   | <b>3</b>  |
| <b>1.2 JUSTIFICACIÓN.</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>1.3 OBJETIVOS.</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2.1 BIOPELÍCULAS.</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2.1.1 Definición.</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2.1.2 Composición.</b> .....  | <b>6</b>  |
| <b>2.1.3 Métodos de producción.</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>2.2 ACEITES ESENCIALES.</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>2.2.1 Definición.</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>2.2.2 Métodos de producción.</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>2.2.3 Composición química.</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>2.2.4 Capacidad inhibitoria.</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>2.3 ENSAYOS FÍSICOS, MECÁNICOS Y MICROBIOLÓGICOS.</b> .....                                       | <b>12</b> |
| <b>2.3.1 Ensayos físicos.</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>2.3.2 Ensayos mecánicos.</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>2.3.3 Ensayos microbiológicos.</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>3 CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>3.1 METODOLOGÍA.</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>3.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS.</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>3.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO.</b> .....   | <b>16</b> |
| <b>3.5 TAMAÑO DE MUESTRA.</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.</b> .....   | <b>16</b> |
| <b>Declaración PRISMA (Preferred Reporting Items of Systematic reviews and Meta Analyses).</b> ..... | <b>16</b> |
| <b>Criterios de inclusión.</b> .....   | <b>17</b> |
| <b>Criterios de exclusión.</b> .....   | <b>17</b> |
| <b>3.7 TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.</b> .....                            | <b>18</b> |
| <b>3.7.1 Análisis porcentual de la investigación.</b> .....  | <b>19</b> |
| <b>3.7.2 Valoración de la calidad de los estudios (PRISMA).</b> .....                                | <b>21</b> |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>4</b>     | <b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>   | <b>24</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>RESULTADOS. ....</b>   | <b>24</b> |
| <b>4.1.1</b> | <b>Efecto de los aceites esenciales en las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas de biopelículas elaboradas a partir de polisacáridos.....</b> | <b>24</b> |
| <b>4.1.2</b> | <b>Efecto de los aceites esenciales en las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas de biopelículas elaboradas a partir de proteínas. ....</b>    | <b>27</b> |
| <b>4.1.3</b> | <b>Matriz de comparación.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>DISCUSIÓN. ....</b>  | <b>32</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>6</b>     | <b>RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>34</b> |
|              | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>35</b> |
|              | <b>ANEXOS .....</b>   | <b>47</b> |

## LISTA DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Evaluación de la calidad de los estudios según la lista de comprobación PRISMA. ....   | 21 |
| <b>Tabla 2.</b> Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de almidón y harina. ....   | 24 |
| <b>Tabla 3.</b> Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de los derivados de la celulosa. ....   | 26 |
| <b>Tabla 4.</b> Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de pectina. ....  | 26 |
| <b>Tabla 5.</b> Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de proteínas. ....  | 27 |
| <b>Tabla 6.</b> Matriz comparativa del efecto de un mismo tipo de aceite esencial sobre las propiedades físicas mecánicas y microbiológicas de diferentes biopelículas. .... | 30 |
| <b>Tabla 7.</b> Lista de comprobación de los ítems a incluir en una revisión sistemática a un meta-análisis. ....  | 48 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Diagrama de Flujo de 4 Fases (PRISMA).....   | 18 |
| <b>Figura 2.</b> Distribución porcentual según las Bases de Datos. ....                                 | 19 |
| <b>Figura 3.</b> Distribución porcentual de acuerdo a la fecha de publicación. ....                     | 19 |
| <b>Figura 4.</b> Distribución porcentual según el tipo de aceite esencial incorporado. ....             | 20 |
| <b>Figura 5.</b> Flujo de información a través de las diferentes fases de una revisión sistemática..... | 47 |

## RESUMEN

Ante la creciente cantidad de desechos plásticos generados, siendo en su mayoría envases y empaques de productos alimenticios, y los graves problemas que esto supone para el medioambiente, múltiples estudios se han enfocado en la búsqueda de opciones que permitan hacer frente a esta situación tan crítica. Una alternativa factible parece ser el desarrollo de polímeros a partir de materia orgánica. Sin embargo, dependiendo de los elementos usados, los materiales resultantes pueden presentar falencias que condicionan su aplicación final.

Los aceites esenciales (AE) debido a su estructura química aparecen como un elemento interesante para la formación de biopolímeros. Por tal motivo, se ha llevado a cabo una investigación documental acerca del efecto de estas sustancias en las propiedades más importantes de los materiales poliméricos (biopelículas) compuestos por polisacáridos y/o proteínas de origen vegetal, así como aditivos plastificantes, emulsionantes y/o reticulantes a través de la recopilación, análisis y comparación de la evidencia aportada por registros ya existentes sobre este tema utilizando la metodología de la Declaración PRISMA.

Las biopelículas con aceites esenciales sintetizadas mediante la técnica de casting presentaron cambios favorables tanto en su contenido de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua, así como en su maleabilidad. Adicionalmente, los biomateriales fueron capaces de inhibir el crecimiento microbiano; sin embargo, mostraron una menor resistencia ante las fuerzas mecánicas de tracción.

**Palabras clave:** biopelículas vegetales, aceites esenciales, propiedades de las biopelículas, método casting.



## **ABSTRACT**

In view of the increasing amount of plastic waste generated, mostly food packaging, and the serious problems this supposes for the environment, many studies have focused on the search for options to confront this critical situation. One feasible alternative seems to be the development of polymers from organic matter. However, depending on the elements used, the resulting materials may have shortcomings that condition their final application.

Essential oils, due to their chemical structure, appear as an interesting element for the formation of biopolymers. For this reason, a documentary research on the effect of these substances on the most important properties of polymeric materials (biofilms) composed of polysaccharides and/or proteins of plant origin, as well as plasticizing, emulsifying and/or crosslinking additives has been carried out through the compilation, analysis and comparison of the evidence provided by existing records on this subject using the methodology of the PRISMA Statement.

Biofilms with essential oils synthesized by the casting technique showed favorable changes in moisture content, solubility and water vapor permeability, as well as in their malleability. Additionally, the biomaterials were able to inhibit microbial growth; however, they showed lower resistance to mechanical tensile forces.

**Keywords:** vegetable polymeric films, essential oils, film properties, casting method.

Reviewed by:  
MsC. Edison Damian Escudero  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C.0601890593

## INTRODUCCIÓN

Las biopelículas, matrices preformadas y delgadas obtenidas a partir de biomasa, han despertado gran interés dentro de la industria del packaging como posibles sustitutos de los artículos de un solo uso ya que podrían presentar características físicas y mecánicas similares a los envases no biodegradables, además de funcionar como barreras bioactivas capaces de prolongar la vida anaquel de los productos.

Polisacáridos como el almidón y la celulosa y proteínas como el gluten y la zeína, son los polímeros naturales más utilizados en la formación de biopelículas. Relativamente económicos por su disponibilidad, poseen excelentes propiedades mecánicas y de barrera contra los gases. Sin embargo, al tratarse de componentes hidrofílicos, tienden a captar una gran cantidad de agua, lo que los hace inadecuados para el envasado y embalaje de productos sensibles a la humedad.

La combinación de más de un elemento estructural, en conjunto con la incorporación de ciertos aditivos e ingredientes funcionales, han mejorado las deficiencias presentadas por las distintas matrices poliméricas. Dentro de este contexto, la integración de aceites esenciales, sustancias aromáticas complejas derivadas de las plantas, ha contribuido a incrementar la elongación y elasticidad de las biopelículas, así como reducir su sensibilidad al agua y permeabilidad al vapor.

El moldeo por casting es el método comúnmente utilizado en la producción y caracterización de biopelículas a escala de laboratorio debido a que es un proceso eficiente, económico y de fácil ejecución. Este sencillo procedimiento consiste en diluir la solución formadora en una placa y someterla a un proceso de secado.

La presente investigación ha sido desarrollada con el objetivo de determinar, mediante un análisis crítico de la literatura ya existente, la forma en que los aceites esenciales afectan las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas de biopelículas obtenidas a partir de matrices poliméricas naturales mediante la técnica de casting y, de esta manera, servir como una guía para futuros trabajos investigativos así como para aquellas industrias que se encuentran o han decidido cambiar su línea de producción a materiales plásticos amigables con el medioambiente y sostenibles a largo plazo.

## **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.1 PROBLEMA.**

En la búsqueda de alternativas sostenibles al plástico convencional de un solo uso, las biopelículas, polímeros sintetizados a partir de compuestos hidrocoloidales (polisacáridos y proteínas) o hidrofóbicos (lípidos, ceras y resinas), debido a su rentabilidad por su abundancia en la naturaleza y degradabilidad parecen ser la mejor opción (Regubalan et al., 2018). Estos biomateriales han despertado un gran interés dentro del sector industrial, particularmente en el alimenticio, ya que pueden controlar la transferencia de gases como el oxígeno y el dióxido de carbono, la humedad, los sabores y aromas entre los alimentos y el ambiente que los rodea, mejorando así la calidad y vida útil de los mismos (Tapia-Blácido et al., 2018).

Sin embargo, los polisacáridos (celulosa, almidón, pectina) y proteínas (zeína, soya, gluten) por su inherente carácter hidrofílico, dan origen a biopelículas altamente sensibles a la humedad e inefectivas ante el vapor de agua, mientras que los compuestos hidrofóbicos (aceites vegetales, ceras, ácidos grasos, glicéridos acetilados, surfactantes, aceites esenciales, extractos de plantas) forman biopolímeros frágiles debido a su baja resistencia mecánica (Erginkaya et al., 2014; Regubalan et al., 2018).

Estas características limitan enormemente la aplicación de biopelículas como materiales para el envasado de alimentos ya que, al poseer una pobre barrera ante la transferencia de vapor así como una alta afinidad con el agua, además de no cumplir con los parámetros del propio proceso de envasado, resultarían ser una fuente potencial para el deterioro de productos sensibles a la humedad (frutos secos, café soluble, sopas deshidratadas, harinas, etc.) y al crecimiento microbiano (*La correcta especificación de los envases*, 2018).

## **1.2 JUSTIFICACIÓN.**

Las biopelículas sintetizadas a partir de polisacáridos y proteínas resultan ser buenas barreras contra el intercambio de gases como el oxígeno y CO<sub>2</sub>. Sin embargo, presentan una elevada capacidad de absorción de agua y son deficientes como barrera ante el traspaso de vapor y humedad.

Para solucionar estos inconvenientes, el uso de compuestos lipídicos como los aceites esenciales es cada vez más común, ya que estas sustancias hidrófobas son capaces de bloquear la transferencia de humedad y vapor de agua. Además, al estar constituidos por más de 300 componentes orgánicos, poseen la facultad de inhibir eficazmente el crecimiento microbiano, por lo que su incorporación en las matrices poliméricas podría dar lugar a materiales con buenas propiedades bactericidas y antifúngicas.

Por estos motivos, el propósito de este trabajo de investigación es identificar los cambios que produce en las características de biopelículas elaboradas con polisacáridos y/o proteínas mediante la técnica de casting la incorporación de aceites esenciales y así determinar qué tan viable es este proceso.

### **1.3 OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

- Identificar los efectos producidos por la incorporación de aceites esenciales en biopelículas de matrices poliméricas naturales obtenidos mediante la técnica de casting.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Realizar un estudio bibliográfico sobre los ensayos físicos, mecánicos y microbiológicos en biopelículas con aceites esenciales.
- Determinar la viabilidad de la incorporación de aceites esenciales en biopelículas obtenidas de matrices poliméricas naturales.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

### 2.1 BIOPELÍCULAS.

#### 2.1.1 Definición.

Las biopelículas son matrices preformadas dispuestas sobre los productos alimenticios, principalmente hortofrutícolas, con el fin de prolongar su vida útil. Estos polímeros biobasados actúan en forma de barrera contra el transporte de gases y vapor de agua, protegiendo a los alimentos de factores como el oxígeno, los microorganismos y la humedad (De Ancos et al., 2015; Fernández – Valdés et al., 2015).

#### 2.1.2 Composición.

Una biopelícula generalmente se encuentra constituida por: una matriz estructural desarrollada a partir de materiales originarios tanto de recursos animales como vegetales o de los desechos provenientes de las actividades agroindustriales; aditivos plastificantes, emulsionantes, así como ingredientes bioactivos (antioxidantes y antimicrobianos) que ayudan a mejorar las propiedades funcionales; y disolventes como el agua o etanol (Ribeiro et al., 2020; Suhag et al., 2020; Vázquez et al., 2018).

##### a. Matriz estructural.

Para la formación de la matriz pueden emplearse compuestos hidrocoloidales (polisacáridos y proteínas) extraídos, por lo regular, de especies vegetales como el maíz, trigo, yuca, papa, caña de azúcar, remolacha, etc. Estas macromoléculas suelen usarse solas o en combinaciones que permitan aprovechar al máximo las ventajas implícitas en cada bioelemento (Adeyeye et al., 2019; Bartkowiak et al., 2015; Vukić et al., 2017).

*Matrices obtenidas a partir de polisacáridos.* Los polisacáridos, hidratos de carbono formados mediante la unión de varias moléculas de azúcar, presentan excelentes propiedades de barrera ante gases como el oxígeno y el dióxido de carbono (causantes en gran medida del

deterioro de los productos alimenticios). No obstante, al tratarse de compuestos hidrofílicos, son altamente sensibles a la humedad (otro de los principales factores involucrados en la descomposición de los alimentos), lo que los convierte en matrices de aplicaciones bastante limitadas. Con respecto a las propiedades mecánicas, estas pueden verse afectadas debido a la retrogradación que sufren determinados polímeros (almidón nativo). Los polisacáridos de origen vegetal más estudiados para la formulación de biopelículas son: el almidón, la celulosa y sus derivados, la pectina y gomas como la arábica, guar y xantana (Abdul Khalil et al., 2018; Bharti et al., 2020; Cazón et al., 2017).

***Matrices obtenidas a partir de proteínas.*** Proteínas vegetales provenientes del trigo, la soja, el cacahuate, el maíz e incluso de las semillas de algodón están siendo ampliamente utilizadas como materia prima para la elaboración de biopelículas al presentar una mayor estabilidad mecánica y mejores propiedades de barrera hacia los gases que los polisacáridos. Sin embargo, su resistencia a la humedad también es muy baja. Dicho inconveniente puede ser superado por medio de la modificación de la proteína a través de métodos químicos o enzimáticos (Calva-Estrada et al., 2019; Garrido et al., 2018; Mangaraj et al., 2018).

***Matrices compuestas.*** Las matrices estructurales basadas únicamente a partir de polisacáridos o proteínas suelen presentar ciertos problemas que condicionan su uso como materiales formadores de biopelículas. Por ello y, con el propósito de aprovechar las características de cada componente, múltiples combinaciones entre varios tipos de polímeros naturales se han llevado a cabo (ej. polisacárido – proteína, proteína – proteína, polisacárido – lípido, etc.) dando como resultado biopelículas con propiedades mecánicas y de barrera significativamente mejoradas. Sin embargo, esta optimización de las características no solo depende de los biopolímeros usados como matriz, sino que también requiere de la existencia de una biocompatibilidad entre ellos (Ansorena et al., 2018; Hammam, 2019; Jin, 2017).



## **b. Aditivos plastificantes, emulsionantes y reticulantes.**

***Plastificantes.*** Las deficiencias presentadas en las propiedades mecánicas de las biopelículas (rigidez, fragilidad, porosidad, agrietamiento, etc.) pueden ser mejoradas mediante la adición de sustancias plastificantes. Estos compuestos higroscópicos reducen los enlaces existentes entre las moléculas poliméricas (mismas que proporcionan las propiedades de barrera a los gases), por lo que, al combinarlos con la matriz estructural, permiten obtener un material flexible, resistente y fácil de manejar. El glicerol, glicol, sorbitol, sacarosa, polietilenglicol, manitol, monoglicérido acetilado, polietilenglicol y xilitol son los plastificantes de uso frecuente en biopelículas. Sin embargo, estos aditivos pueden ocasionar efectos adversos tanto en las propiedades de permeabilidad al agua como de barrera contra los gases, por lo cual, debe considerarse minuciosamente el tipo y la concentración del plastificante a utilizar durante la formulación de biopelículas (Bolívar-Monsalve et al., 2019; Castro-Rosas et al., 2016; Miller et al., 2020).

***Emulsionantes.*** Los emulsionantes, debido a sus capacidades de estabilización, son ampliamente utilizados en la formulación de biopelículas. Estas sustancias, cuya estructura básica consta de una parte hidrofóbica, (generalmente un ácido graso de cadena larga) y una parte hidrofílica que puede estar o no cargada, resultan fundamentales durante la producción de biopolímeros compuestos homogéneos (proteína – lípido, polisacárido – lípido), ya que permiten la formación de emulsiones óleo-acuosas al actuar como dispersantes o solubilizantes de los componentes lipídicos (Metych, 2019).

***Reticulantes o reticuladores.*** Son reactivos utilizados para reforzar la estructura interna de una matriz polimérica ya que permiten la unión intermolecular o intramolecular de dos o más partículas mediante un enlace covalente, proporcionando de esta manera una mayor resistencia a los impactos y deformaciones. (Arora et al., 2017)

### **c. Componentes activos.**

Corresponden a una amplia variedad de compuestos empleados en la inhibición tanto del crecimiento como del desarrollo de aquellos microorganismos responsables del deterioro de los productos alimenticios. Los ácidos orgánicos (benzoico, propionico, sórbico, acético) y elementos extraídos de diversas especies vegetales (compuestos fenólicos y aceites esenciales) son los biostáticos de uso común debido a su amplio rango bactericida y fungicida. Sin embargo, dependiendo del tipo, género, especie y cepa microbiana, ciertos agentes resultan más efectivos que otros (Costa et al., 2018; Galus & Kadzińska, 2015; Kaewprachu & Rawdkuen, 2016; Vilela et al., 2018).

### **d. Solventes.**

Son sustancias ácidas, básicas, anfotéricas o apólicas, generalmente líquidas, en las que otros materiales se disuelven para formar una solución. Componentes orgánicos como los hidrocarburos, alcoholes, ésteres, éteres, cetonas, aminas y nitratos e inorgánicos como el agua son comúnmente empleados como solventes (Augustyn, 2019).

## **2.1.3 Métodos de producción.**

**Moldeo por Casting.** Es el método más utilizado en la elaboración de biopelículas a partir de matrices poliméricas naturales (polisacáridos, proteínas y lípidos) a escala de laboratorio. También conocido como técnica de vaciado en placa, este sencillo método consta de 3 etapas:

- i) la dispersión y disolución de los componentes usados como matriz estructural, las sustancias aditivas (plastificantes, emulsionantes, reticulantes) y los componentes activos (agentes antimicrobianos) en un medio solvente (agua),

ii) el vertimiento de la solución obtenida en una superficie adecuada como por ejemplo moldes predeterminados o placas recubiertas de teflón,

iii) y la evaporación del disolvente y posterior desprendimiento de la película del molde o placa mediante un proceso de secado, el cual, puede realizarse en hornos de aire caliente, secadores de bandeja, microondas o secadores de vacío.

Sin embargo, si no se selecciona una matriz estructural adecuada y no se ejecuta un control minucioso sobre los parámetros de temperatura (25 – 35 °C) durante el proceso de secado y humedad relativa (50 – 58 %) en la fase de condicionamiento, las propiedades finales del material polimérico obtenido pueden verse afectadas considerablemente (Lazaridou & Biliaderis, 2020; Mellinas et al., 2015; Otoni et al., 2017).

## **2.2 ACEITES ESENCIALES.**

### **2.2.1 Definición.**

Son compuestos volátiles que pueden obtenerse prácticamente de cualquier parte de las especies vegetales aromáticas (flores, hojas, frutos, ramas, cortezas, semillas, rizomas y raíces) a través de varios métodos físicos y mecánicos. Derivados del metabolismo secundario de las plantas, estas sustancias presentan propiedades biológicas capaces de prolongar la vida anaquel de los productos perecederos, por lo cual, están siendo ampliamente estudiados dentro del sector alimentario (Santos et al., 2017).

### **2.2.2 Métodos de producción.**

#### **a. Destilación por arrastre de vapor de agua.**

El vapor generado por la ebullición del agua, al entrar en contacto con la materia vegetal libera los aceites esenciales almacenados en el citoplasma y posteriormente los transporta hacia

un condensador donde pasarán de un estado gaseoso a un estado líquido. Una vez terminada la recolección, el aceite esencial será separado del agua (antes vapor y ahora hidrolato) por diferencia de densidades a través de un sifón o embudo (Requejo, 2020).

#### **b. Enflorado o impregnación.**

También conocido como maceración, este método tradicional es aplicado con plantas propensas a sufrir daños o alteraciones en su estructura durante el proceso de destilación. Consiste en extender la materia prima vegetal, generalmente flores, sobre una combinación de grasa y sebo durante un periodo de tiempo (entre 24 a 72 horas), en el cuál, estas absorberán la esencia hasta su saturación. El enflorado puede llevarse a cabo tanto en frío como en caliente (Metych, 2019; Requejo, 2020).

#### **c. Destilación por solventes orgánicos.**

Solventes orgánicos como el agua acidificada, etanol, isopropanol, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona y cloroformo han sido usados ampliamente en la extracción de valiosos compuestos bioactivos. Estas sustancias son capaces de disolver selectivamente uno o varios elementos de una matriz sólida, aunque estos se encuentren en ínfimas cantidades. Además, a diferencia del método de destilación por vapor, trabaja a bajas temperaturas, por lo que no provoca la termodestrucción o modificación química de los mismos. Sin embargo, el producto resultante, conocido como absoluto, es impuro, ya que aún contiene partículas del solvente usado para la extracción (Requejo, 2020).

#### **d. Presión mecánica.**

Aplicado en la obtención del aceite de los frutos cítricos: naranja, pomelo, limón, bergamota, mandarina, lima, etc., es el método más sencillo y el único que no modifica la

composición de la esencia original puesto que, sin necesidad de vapor o solventes, el aceite es extraído de la cáscara por medio de la presión generada por una prensa hidráulica. (Metych, 2019; Requejo, 2020).

### **2.2.3 Composición química.**

Los aceites esenciales se encuentran conformados por una compleja combinación de más de 300 componentes orgánicos de bajo peso molecular. De todos ellos, los terpenoides y fenilpropanoides resultan ser los componentes mayoritarios al constituir poco más o menos del 70% de la sustancia aromática. Un claro ejemplo lo podemos encontrar en el aceite esencial de naranja, cuya composición química es 90% limoneno (Calo et al., 2015; Ribeiro-Santos et al., 2017).

### **2.2.4 Capacidad inhibitoria.**

Compuestos como el cinamaldehído, citral, carvacrol, eugenol y timol han demostrado poseer una gran eficiencia contra una amplia gama de microorganismos patógenos. Estas sustancias hidrofóbicas, a través de la interferencia en la síntesis de peptidoglicanos, son capaces de alterar la estructura de la pared y membrana celular microbiana. Esta desnaturalización causa la pérdida progresiva de componentes intracelulares fundamentales (iones, proteínas, ácidos nucleicos), teniendo como consecuencia el deterioro de la célula y su posterior muerte (Ju et al., 2019; Moreira et al., 2016).

## **2.3 ENSAYOS FÍSICOS, MECÁNICOS Y MICROBIOLÓGICOS.**

### **2.3.1 Ensayos físicos.**

- a. Contenido de humedad.** Hace referencia al peso del agua contenida en un determinado objeto o material. Suele expresarse en porcentaje de peso.

$$CH\% = (P_h - P_s/P_h) * 100$$

donde  $P_h$  es el peso de la muestra húmeda y  $P_s$  es el peso de la muestra seca.

- b. Solubilidad.** Determina la capacidad de disolución de una sustancia denominada soluto en un solvente. El soluto puede ser un elemento sólido, líquido o gaseoso.

$$S\% = 100[p_i - p_f/p_i]$$

donde  $p_i$  es el peso seco inicial de la muestra (g) y  $p_f$  es el peso seco final de la muestra (g).

(Pagno et al., 2016)

- c. Permeabilidad al vapor de agua.** Determina la capacidad de un objeto para obstruir el paso de cualquier fluido a través del mismo.

$$WVP = w \cdot L/A \cdot t \cdot \Delta p$$

donde  $w$  es la cantidad de agua (masa o volumen) que atraviesa el material,  $L$  es el espesor del material (m),  $A$  es el área de permeabilidad ( $m^2$ ),  $t$  es el tiempo de permeabilidad (s) y  $\Delta p$  es la gradiente de presión (Pa).

(*La correcta especificación de los envases*, 2018; Pagno et al., 2016)

### 2.3.2 Ensayos mecánicos.

**Resistencia a la tracción.** Determina lo resistente que puede resultar un material ante una fuerza de estiramiento. Consiste en aplicar a una probeta un esfuerzo de tracción creciente en dirección axial hasta su rotura con el propósito de identificar sus cualidades mecánicas (esfuerzo de tensión, porcentaje de elongación, módulo de elasticidad).

$$\sigma = F/A_0$$

donde  $\sigma$  es el esfuerzo de tracción (Pa),  $F$  es la carga aplicada (N) y  $A_0$  es el área original de la probeta ( $m^2$ ).

$$\varepsilon = (l - l_0)/l_0$$

$$\varepsilon = 100[(l - l_0)/l_0]$$

donde  $\varepsilon$  es la capacidad de elongación (m/m ó %),  $l$  es la longitud final de la probeta (m) y  $l_0$  es la longitud inicial de la probeta (m).

$$E = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon$$

donde  $E$  es el módulo de elasticidad (Pa),  $\Delta\sigma$  es un incremento del esfuerzo (Pa) y  $\Delta\varepsilon$  es un incremento en la elongación (m/m).

(Balvantín, 2016)

### 2.3.3 Ensayos microbiológicos.

**Método de difusión con discos.** Determina el potencial de un compuesto ante el crecimiento y desarrollo microbiano. Este método consiste en difundir el agente inhibitorio sobre la superficie de un cultivo de agar a través de unos discos de papel filtro. Tras la incubación, si los compuestos son efectivos, se formará una zona de inhibición alrededor de los mismos. Dependiendo del diámetro del área formada, se definirá la verdadera capacidad del compuesto (Horváth et al., 2016).

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.**

### **3.1 METODOLOGÍA.**

Para evaluar los efectos de los aceites esenciales en las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas de las distintas matrices poliméricas de origen vegetal, en primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de escritos relacionados con la formulación y el desarrollo de biopelículas en las bases de datos SpringerLink, ScienceDirect y Wiley Online Library a través de una ecuación de búsqueda. Posteriormente, se efectuó un cribado de los registros identificados y recuperados siguiendo la metodología de la Declaración PRISMA. Por último, se realizó una tabulación de los valores en referencia a los artículos encontrados y seleccionados con base en los criterios de inclusión y exclusión.

### **3.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.**

El presente trabajo de investigación es de carácter documental – descriptivo, ya que se efectuó una búsqueda, selección, revisión y análisis de varios artículos científicos, revistas y libros digitales que tratan sobre el desarrollo de biopelículas a partir de matrices poliméricas naturales y posteriormente fueron descritos los resultados, tanto favorables como adversos, obtenidos por los estudios previos evaluados acerca de los efectos que tendría la incorporación de varios tipos de aceites esenciales en las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas de las biopelículas.

### **3.3 UNIDAD DE ANÁLISIS.**

- Biopelículas.
- Aceites esenciales.



### **3.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO.**

1217 estudios referentes a la formulación y el desarrollo de biopelículas fueron identificados y recuperados de las bases de datos científicas utilizando la ecuación de búsqueda: (((edible films) OR (vegetable polymeric films)) AND (essential oils)) AND (film properties)) AND (casting method).

### **3.5 TAMAÑO DE MUESTRA.**

Siguiendo la metodología de la Declaración PRISMA, 18 artículos fueron seleccionados para identificar y comparar los efectos sobre las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas que tendría el incorporar aceites esenciales en la síntesis, mediante la técnica de casting, de biopelículas de matrices poliméricas de origen vegetal.

### **3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

**Declaración PRISMA (Preferred Reporting Items of Systematic reviews and Meta Analyses).** Es una guía diseñada para ayudar a los autores a mejorar la presentación de las revisiones sistemáticas y meta – análisis. Consiste en una lista de comprobación de 27 ítems (ver Anexo 2) referentes al contenido de una revisión sistemática y un meta – análisis (título, resumen, métodos, resultados, discusión, etc); y un diagrama de flujo de 4 fases (ver Anexo 1) el cual representa la secuencia seguida por la información a través de las diferentes fases de una revisión sistemática, es decir, muestra el número de registros identificados, incluidos y excluidos, así como los motivos de su exclusión (Liberati et al., 2009; Moher et al., 2009).

### **Criterios de inclusión.**

Son las características que deben tener los posibles estudios para considerar su inclusión en un ensayo. Fueron incluidos en la investigación aquellos estudios:

- Enfocados en la obtención de películas simples o compuestas a partir de polímeros vegetales.
- Que incorporaron a la formulación aceites esenciales y no los compuestos químicos derivados de ellos como por ejemplo aldehídos, cetonas, ésteres, fenoles, fenilpropanoides, etc.
- Que utilizaron la técnica de moldeo por casting para el desarrollo de las biopelículas.
- Que realizaron tanto ensayos físicos como mecánicos y microbiológicos al producto final.
- Publicados a partir del 2010 y en el idioma inglés.

### **Criterios de exclusión.**

Son las características que impiden la inclusión de los posibles estudios en un ensayo.

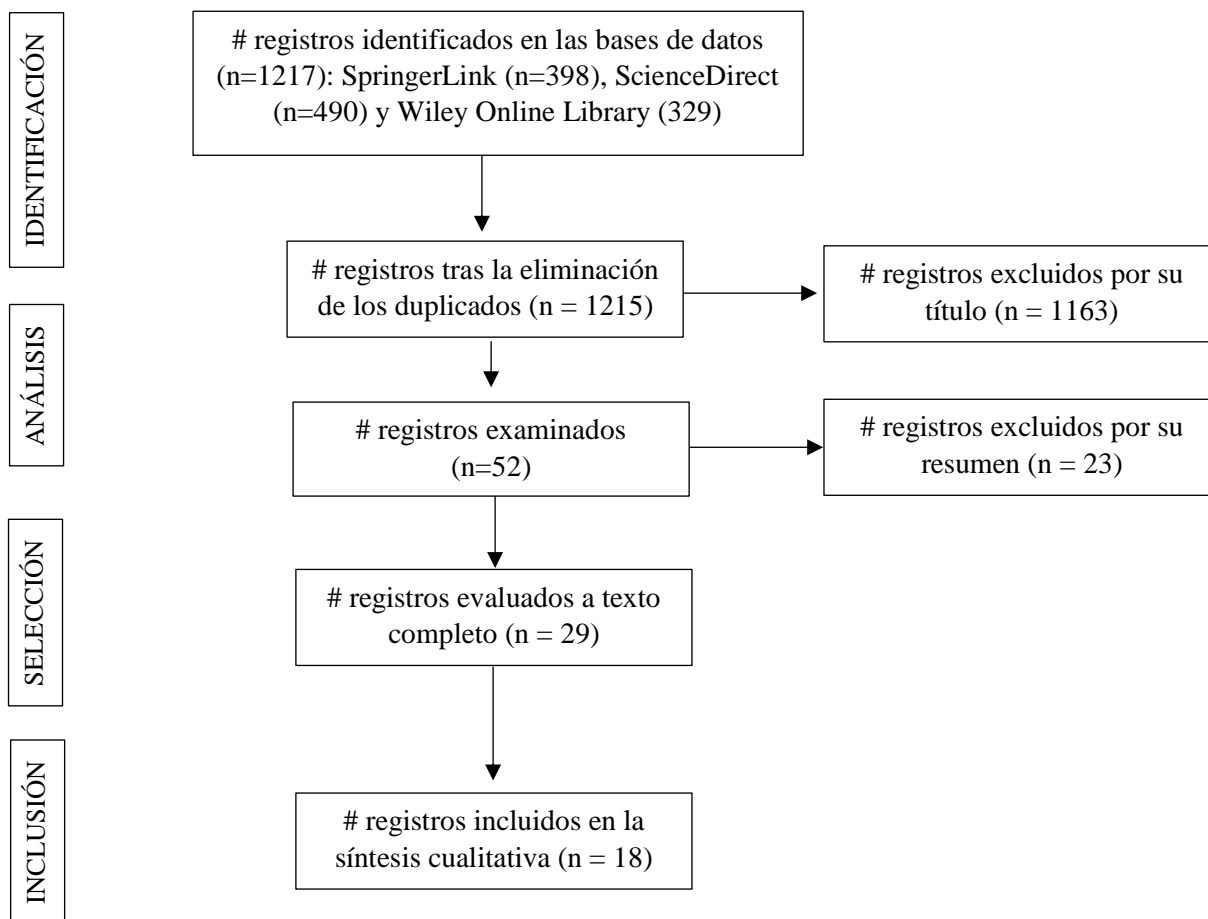
Los artículos serán excluidos de la investigación si:

- Se encuentran publicados en forma de revisiones, resúmenes o capítulos de libros.
- Han combinado para la formación de la matriz estructural polisacáridos o proteínas vegetales con polímeros de origen animal, marino o microbiano.
- Integraron los aceites esenciales en las matrices a través de métodos como la micro- y nano- encapsulación y/o micro- y nano- emulsión.
- Emplearon extractos de frutas y/o vegetales u otros agentes activos (ácidos orgánicos, sales de potasio, sorbato de sodio, entre otros) en conjunto o en sustitución de los aceites esenciales.

### 3.7 TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

La identificación, análisis, selección, valoración y síntesis de los registros disponibles sobre el desarrollo de biopolímeros en la literatura científica se realizó siguiendo la secuencia presentada en el Diagrama de Flujo de Cuatro Fases (Figura 1).

**Figura 1.** Diagrama de Flujo de 4 Fases (PRISMA).



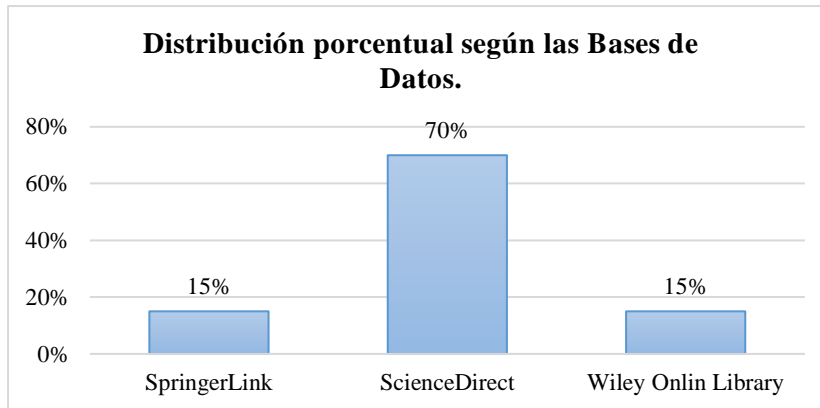
**Interpretación:** En la búsqueda inicial 1217 registros fueron identificados en las bases de datos científicas, de los cuales tan solo 2 resultaron duplicados. Posteriormente, aplicando los criterios de inclusión y exclusión, 1163 registros fueron descartados tras la lectura de su título y otros 23 luego de analizar su resumen. Por último, a través de la Lista de Comprobación PRISMA, se efectuó una evaluación completa de los 29 estudios restantes, resultando ser 18 el número de artículos elegidos para el desarrollo de la síntesis cualitativa.

### 3.7.1 Análisis porcentual de la investigación.

Las siguientes figuras indican la distribución porcentual de los artículos científicos según la base de datos, la fecha de publicación y el tipo de aceite esencial incorporado.

#### a. Bases de Datos.

**Figura 2.** Distribución porcentual según las Bases de Datos.

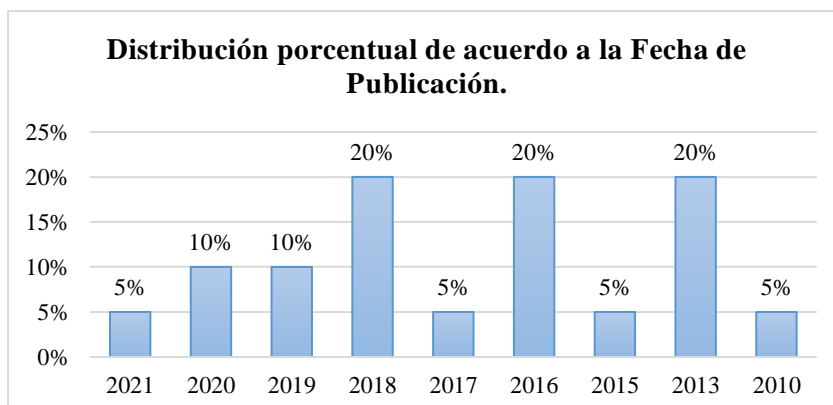


**Elaborado por:** Uquillas, S (2021)

**Interpretación:** El 70% de los estudios seleccionados para la síntesis cualitativa se recuperaron de la base de datos ScienceDirect mientras que SpringerLink y Wiley Online Library aportaron con el 30% de los registros.

#### b. Año de Publicación.

**Figura 3.** Distribución porcentual de acuerdo a la fecha de publicación.

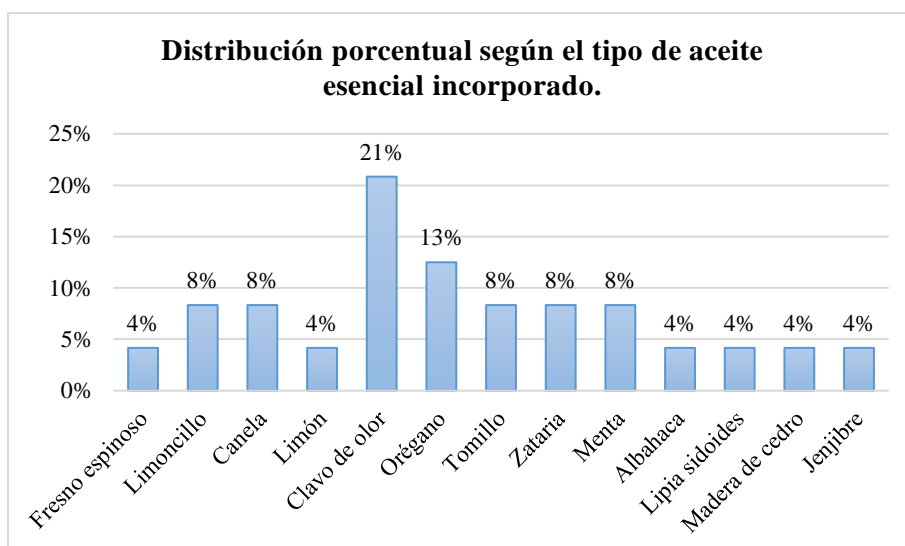


**Elaborado por:** Uquillas, S (2021)

**Interpretación:** El 60% de los artículos seleccionados para la síntesis cualitativa se publicaron en los años 2018, 2016 y 2013. En el 2020 y 2019 fueron publicados el 20% de los estudios mientras que el 15% restante se publicaron entre el 2021, 2017 y 2010.

### c. Tipo de Aceite Esencial

**Figura 4.** Distribución porcentual según el tipo de aceite esencial incorporado.



**Elaborado por:** Uquillas, S (2021)

**Interpretación:** El aceite esencial de clavo de olor con un 21% fue el más utilizado en la formulación de biopelículas seguido por el aceite esencial de orégano con un 13%. Con una frecuencia del 8% se encuentran los aceites de limoncillo, canela, tomillo, zataria y menta mientras que los menos empleados (4%) fueron los aceites de albahaca, lipia sidoides y jengibre al igual que aquellos provenientes de cítricos (limón) y de especies arbóreas (fresno espinoso y cedro).

### 3.7.2 Valoración de la calidad de los estudios (PRISMA).

En la tabla 1 se presentan los 29 artículos científicos seleccionados a través del Diagrama de Flujo de 4 Fases (ver Figura 1.) con el propósito de evaluar su calidad mediante la Lista de Comprobación PRISMA.

**Tabla 1.** Evaluación de la calidad de los estudios según la lista de comprobación PRISMA.

| Nº | TÍTULO  | VERIFICACIÓN | PUNTUACIÓN |
|----|---|--------------|------------|
| 1  | Antimicrobial, mechanical and barrier properties of triticale protein films incorporated with oregano essential oil.  | Si cumple    | 22/27      |
| 2  | Characterization of SPI-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils.   | Si cumple    | 22/27      |
| 3  | Physical and mechanical testing of essential oil-embedded cellulose ester films.  | Si cumple    | 22/27      |
| 4  | Antibacterial activity, optical, mechanical, and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil.                                   | No cumple    | 20/27      |
| 5  | Comparative study of the properties of soy protein concentrate films containing free and encapsulated oregano essential oil.                                | Si cumple    | 22/27      |
| 6  | Structure, Functionality, and Active Release of Nanoclay–Soy Protein Films Affected by Clove Essential Oil.   | Si cumple    | 22/27      |
| 7  | Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils.  | Si cumple    | 22/27      |
| 8  | Reinforced cassava starch based edible film incorporated with essential oil and sodium bentonite nanoclay as food packaging material.                       | Si cumple    | 22/27      |
| 9  | Effect of quince seed mucilage edible films incorporated with oregano or thyme essential oil on shelf life extension of refrigerated rainbow trout fillets. | No cumple    | 20/27      |

|           |   |           |       |
|-----------|---|-----------|-------|
| <b>10</b> | Barrier properties, mechanical properties and antimicrobial activity of hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite films incorporated with Thai essential oils.  | No cumple | 20/27 |
| <b>11</b> | Preparation and application of a flaxseed meal protein film containing lemongrass ( <i>Cymbopogon citratus</i> ) oil.   | No cumple | 20/27 |
| <b>12</b> | Study on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activity of okara soluble dietary fiber/sodium carboxymethyl cellulose/thyme essential oil active edible composite films incorporated with pectin. | Si cumple | 22/27 |
| <b>13</b> | Oregano essential oil loaded soybean polysaccharide films: Effect of Pickering type immobilization on physical and antimicrobial properties.  | No cumple | 20/27 |
| <b>14</b> | Correlating emulsion characteristics with the properties of active starch films loaded with lemongrass essential oil.   | Si cumple | 22/27 |
| <b>15</b> | Antioxidant and antimicrobial effects of zein edible film impregnated with <i>Zataria multiflora</i> Boiss. essential oil and monolaurin.   | No cumple | 20/27 |
| <b>16</b> | Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties.  | Si cumple | 22/27 |
| <b>17</b> | Microfibrillated cellulose addition improved the physicochemical and bioactive properties of biodegradable films based on soy protein and clove essential oil.  | Si cumple | 22/27 |
| <b>18</b> | Physical and antimicrobial properties of quinoa flour-based films incorporated with essential oil.  | Si cumple | 22/27 |
| <b>19</b> | Cellulose acetate active films incorporated with oregano ( <i>Origanum vulgare</i> ) essential oil and organophilic montmorillonite clay control the growth of phytopathogenic fungi.                                 | No cumple | 20/27 |

|           |   |           |       |
|-----------|---|-----------|-------|
| <b>20</b> | Potential application of corn starch edible films with spice essential oils for the shelf life extension of red meat.   | No cumple | 20/27 |
| <b>21</b> | Characterization of soluble soybean polysaccharide film incorporated essential oil intended for food packaging.   | Si cumple | 22/27 |
| <b>22</b> | Development of new active packaging film made from a soluble soybean polysaccharide incorporated Zataria multiflora Boiss and Mentha pulegium essential oils. | No cumple | 20/27 |
| <b>23</b> | Sunflower protein films incorporated with clove essential oil have potential application for the preservation of fish patties.                                | Si cumple | 22/27 |
| <b>24</b> | Antibacterial activity of pectic-based edible films incorporated with Mexican Limeessential oil.  | No cumple | 20/27 |
| <b>25</b> | Antimicrobial activity of sugar beet lignocellulose films containing tung oil and cedarwood essential oil.  | Si cumple | 22/27 |
| <b>26</b> | Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films.   | Si cumple | 22/27 |
| <b>27</b> | Active starch biopolymeric packaging film for sausages embedded with essential oil of Syzygium aromaticum.  | No cumple | 20/27 |
| <b>28</b> | Physicochemical properties and antibacterial activity of corn starch based films incorporated with Zanthoxylum bungeanum essential oil.                       | Si cumple | 22/27 |
| <b>29</b> | Utilization of foxtail millet starch film incorporated with clove leaf oil for the packaging of queso blanco cheese as a model food.                          | Si cumple | 22/27 |

**Elaborado por:** Uquillas, S. (2021)



## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RESULTADOS.

Para determinar la efectividad de los aceites esenciales en el desarrollo de biopelículas constituidas por polisacáridos y/o proteínas de origen vegetal, se llevó a cabo un análisis y posteriormente, una síntesis de los resultados procedentes de los 18 estudios que cumplieron los criterios de valoración (ver Tablas 2, 3, 4 y 5)

#### 4.1.1 Efecto de los aceites esenciales en las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas de biopelículas elaboradas a partir de polisacáridos.

**Tabla 2.** Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de almidón y harina.

| AUTOR                    | TEMA   | MATRIZ POLIMÉRICA                        | TIPO DE ACEITE ESENCIAL | PRODUCTO    | RESULTADOS   |
|--------------------------|--|--|-------------------------|-------------|--|
| Wang et al., 2021.       | Physicochemical properties and antibacterial activity of corn starch based films incorporated with <i>Zanthoxylum bungeanum</i> essential oil. | Almidón de maíz.                         | Fresno espinoso.        | Ninguno.    | Biopelículas maleables con buenas propiedades físicas y microbiológicas, pero con una reducción significativa de la resistencia.   |
| Mendes et al., 2020.     | Correlating emulsion characteristics with the properties of active starch films loaded with lemongrass essential oil.                          | Almidón de yuca con pectina.             | Limoncillo.             | Ninguno.    | La adición del aceite esencial mejoró las propiedades físicas y mecánicas de las biopelículas.   |
| Iamareerat et al., 2018. | Reinforced cassava starch based edible film incorporated with essential oil and sodium bentonite nanoclay as a food packaging material.        | Almidón de yuca con bentionato de sodio. | Canela.                 | Albóndigas. | La incorporación del aceite esencial mejoró los efectos antimicrobianos de las biopelículas, pero produjo una disminución tanto en la resistencia como en la capacidad de barrera ante el vapor de agua. |
| Song et al., 2018.       | Effect of Essential Oil and surfactant   | Almidón de maíz y trigo.                 | Limón.                  | Ninguno.    | Biopelículas maleables con buenas  |

|                         |  |                   |                    |               |  |
|-------------------------|--|-------------------|--------------------|---------------|--|
|                         | on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films.   |                   |                    |               | propiedades físicas, pero con una notable disminución de la resistencia.   |
| Yang et al., 2017       | Utilization of foxtail millet starch film incorporated with clove leaf oil for the packaging of queso blanco cheese as a model food. | Almidón de mijo.  | Clavo de olor.     | Queso fresco. | Biopelículas maleables con buenas propiedades antimicrobianas, pero con una disminución de la resistencia y sin cambios notables en las características físicas.   |
| Pagno et al., 2016.     | Physical and antimicrobial properties of quinoa flour-based films incorporated with essential oil.                                   | Harina de quinua. | Orégano y tomillo. | Ninguno.      | Los aceites esenciales disminuyeron la resistencia de las biopelículas, pero mejoraron la maleabilidad al igual que las propiedades físicas.<br><br>Efectivas ante el crecimiento microbiano.  |
| Ghasemlou et al., 2013. | Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils.                             | Almidón de maíz.  | Zataria y menta.   | Ninguno.      | Un incremento en el contenido de aceite esencial resultó en una disminución significativa de la resistencia, una mejora en la maleabilidad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua de las biopelículas. Ambos aceites fueron efectivos ante el crecimiento microbiano, pero el de Zataria mostró mejores resultados que el de menta. |

**Elaborado por:** Uquillas, S. (2021)

**Tabla 3.** *Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de los derivados de la celulosa.*

| <b>AUTOR</b>         | <b>TEMA</b>  | <b>MATRIZ POLIMÉRICA</b> | <b>TIPO DE ACEITE ESENCIAL</b>         | <b>PRODUCTO</b> | <b>RESULTADOS</b>  |
|----------------------|--|--------------------------|--|-----------------|--|
| Bastos et al., 2016. | Physical and mechanical testing of essential oil embedded cellulose ester films.                           | Ésteres de celulosa.     | Limoncillo, albahaca y Lipia sidoides. | Ninguno.        | La incorporación de aceite esencial redujo la resistencia, pero mejoró la maleabilidad de las biopelículas. Adicionalmente las capacidades de barrera se vieron afectadas de forma positiva. |
| Shen & Kamdem, 2015. | Antimicrobial activity of sugar beet lignocellulose films containing tung oil and cedarwood essential oil. | Lignocelulosa.           | Madera de cedro.                       | Ninguno.        | Biopelículas sin cambios significativos en sus propiedades físicas, con una baja resistencia, pero significativa maleabilidad y actividad antimicrobiana.                                    |

**Elaborado por:** Uquillas, S. (2021)

**Tabla 4.** *Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de pectina.*

| <b>AUTOR</b>      | <b>TEMA</b>   | <b>MATRIZ POLIMÉRICA</b>                                       | <b>TIPO DE ACEITE ESENCIAL</b> | <b>PRODUCTO</b> | <b>RESULTADOS</b>  |
|-------------------|---|--|--------------------------------|-----------------|--|
| Lin et al., 2020. | Study on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activity of okara soluble dietary fiber/sodium carboxymethyl cellulose/thyme essential oil active edible composite films incorporated with pectin. | Fibra dietética soluble de la pulpa de soya con pectina y CMC. | Tomillo.                       | Ninguno.        | La combinación de pectina, CMC y aceite esencial mejoró las propiedades físicas y mecánicas de las biopelículas. Sin embargo, su actividad antimicrobiana se vio reducida. |

|                     |  |                  |                |          |  |
|---------------------|--|------------------|----------------|----------|--|
| Nisar et al., 2018. | Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. | Pectina cítrica. | Clavo de olor. | Ninguno. | La inclusión del aceite esencial supuso una mejora significativa en las capacidades de barrera, resistencia y maleabilidad de las biopelículas.<br><br>Efectivas ante el crecimiento microbiano. |
|---------------------|--|------------------|----------------|----------|--|

Elaborado por: Uquillas, S. (2021)

#### 4.1.2 Efecto de los aceites esenciales en las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas de biopelículas elaboradas a partir de proteínas.

**Tabla 5.** Efecto de los aceites esenciales en biopelículas elaboradas a partir de proteínas.

| AUTOR                             | TEMA   | MATRIZ POLIMÉRICA   | TIPO DE ACEITE ESENCIAL | PRODUCTO | RESULTADOS   |
|-----------------------------------|--|---|-------------------------|----------|--|
| dos Santos Paglione et al., 2019. | Comparative study of the properties of soy protein concentrate films containing free and encapsulated oregano essential oil.                                   | Biopelículas de proteína de soya.                             | Orégano.                | Ninguno. | La incorporación del aceite esencial al 3% disminuyó la resistencia, mejoró la maleabilidad e incrementó la solubilidad de las biopelículas.<br><br>Efectivas ante el crecimiento microbiano.  |
| Ortiz et al., 2018.               | Microfibrillated cellulose addition improved the physicochemical and bioactive properties of biodegradable films based on soy protein and clove essential oil. | Biopelículas de proteína de soya con microfibras celulósicas. | Clavo de olor.          | Ninguno. | La integración del aceite esencial en biopelículas reforzadas con microfibra proporcionó propiedades antimicrobianas y de barrera ante el vapor de agua, pero causó un efecto plastificante dando lugar a materiales con pobres propiedades físicas y mecánicas. |

|                          |  |   |                  |                          |  |
|--------------------------|--|---|------------------|--------------------------|--|
| Echeverría et al., 2016. | Structure, Functionality, and Active Release of Nanoclay-Soy Protein Films Affected by Clove Essential Oil.                    | Biopelícula de proteína de soya reforzada con montmorillonita.              | Clavo de olor.   | Ninguno.                 | El aceite esencial produjo una disminución de la resistencia, mejoró la maleabilidad e incrementó el contenido de humedad de la biopelícula. No hubo cambios significativos en la solubilidad y permeabilidad al vapor de agua y mostraron efectividad ante el crecimiento microbiano. |
| Aguirre et al., 2013.    | Antimicrobial, mechanical and barrier properties of triticale protein films incorporated with oregano essential oil.           | Biopelículas de proteína de triticale.                                      | Orégano.         | Ninguno.                 | La adición del aceite esencial no afectó significativamente la permeabilidad al vapor de agua, pero incrementó la solubilidad, mejoró la maleabilidad y redujo la resistencia de la biopelícula.<br><br>Efectivas ante el crecimiento microbiano.                                      |
| Salarbashi et al., 2013. | Characterization of soluble soybean polysaccharide film incorporated essential oil intended for food packaging.                | Biopelículas de soya.   | Zataria y menta. | Ninguno.                 | Las propiedades físicas y la maleabilidad de las biopelículas fueron mejoradas tras la adición de los aceites esenciales, pero la resistencia fue afectada de manera negativa.   |
| Salgado et al., 2013.    | Sunflower protein films incorporated with clove essential oil have potential application for the preservation of fish patties. | Biopelículas a partir del concentrado de proteína de la semilla de girasol. | Clavo de olor.   | Hamburguesas de pescado. | La presencia del aceite esencial no supuso ningún cambio significativo tanto en las propiedades físicas como mecánicas de las biopelículas.<br><br>Efectivas contra el crecimiento microbiano.   |

---

|                         |   |                                   |                    |          |  |
|-------------------------|---|-----------------------------------|--------------------|----------|--|
| Atarés et al.,<br>2010. | Characterization of SPI-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. | Biopelículas de proteína de soya. | Canela y jengibre. | Ninguno. | El uso de aceites esenciales en bajas cantidades (0.05%) aumentó levemente la permeabilidad al vapor de agua de las biopelículas. El aceite esencial de jengibre dio origen a biopelículas menos resistentes y maleables en comparación con aquellas producidas con aceite esencial de canela. |
|-------------------------|---|-----------------------------------|--------------------|----------|--|

---

**Elaborado por:** Uquillas, S. (2021)

**Interpretación:** De acuerdo con los datos expresados en las Tablas 2, 3, 4 y 5 en 15 de los 18 estudios la incorporación de aceites esenciales provocó un efecto plastificante en las matrices poliméricas, dando como resultado biopelículas poco resistentes pero fáciles de moldear, mientras que en los 3 estudios restantes notables mejorías tanto en las propiedades físicas (contenido de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua) como mecánicas (resistencia y elongación) fueron obtenidas al elaborar las biopelículas con pectina. Adicionalmente, los biopolímeros con aceites esenciales formaron un halo de inhibición ante el crecimiento microbiano, siendo los compuestos lipídicos extraídos de la madera de cedro, el orégano y el tomillo los de mayor efectividad.

### 4.1.3 Matriz de comparación.

En la tabla 6 se comparó los efectos de un mismo aceite esencial sobre las propiedades físicas, mecánicas y microbiológicas de biopelículas desarrolladas con diferentes matrices estructurales mediante la técnica de casting.

**Tabla 6.** Matriz comparativa del efecto de un mismo tipo de aceite esencial sobre las propiedades físicas mecánicas y microbiológicas de diferentes biopelículas.

| ACEITE ESENCIAL | TIPO DE BIOPELÍCULA                                      | SEMEJANZAS   | DIFERENCIAS  | EFFECTIVIDAD  |
|-----------------|--|--|--|---|
| Clavo de olor   | Proteína de soya con montmorillonita.                    | El aceite esencial tuvo en la mayoría de las biopelículas los mismos efectos sobre el contenido de humedad (incremento) y la permeabilidad al vapor de agua (reducción) así como en las propiedades mecánicas (disminución de la resistencia e incremento en la elongación). Todos los materiales poliméricos fueron capaces de inhibir el crecimiento microbiano.                                 | Con la adición del aceite esencial el contenido de humedad y la elasticidad de las biopelículas variaron considerablemente. Algunos materiales sufrieron un incremento mientras que otros evidenciaron una disminución o no sufrieron cambio alguno.   | El uso del aceite esencial de clavo de olor dio origen a biopelículas con buenas capacidades de barrera y deformación e incluso resistentes al agua y al esfuerzo mecánico si se combina con la matriz polimérica adecuada (pectina). |
|                 | Aislado de proteína de soya con microfibras celulósicas. |  |  |   |
|                 | Pectina cítrica.   |  |  |   |
|                 | Almidón de mijo.   |  |  |   |
|                 | Concentrado de proteína de girasol.                      |  |  |   |
| Orégano         | Concentrado de proteína de soya.                         | La incorporación del aceite esencial tuvo el mismo efecto en el contenido de humedad (reducción) y en las propiedades mecánicas (disminución de la resistencia, incremento en la elongación y elasticidad) de las biopelículas ya sea que estas se encuentren desarrolladas a partir de almidón o proteínas. Todos los materiales poliméricos fueron capaces de inhibir el crecimiento microbiano. | El aceite esencial produjo distintos resultados en las propiedades físicas tanto de las biopelículas basadas en almidón como de aquellas elaboradas con proteínas. La solubilidad y la permeabilidad al vapor de agua en algunos biopolímeros mejoraron pero en otros tuvieron el efecto contrario o incluso no sufrieron cambio alguno. | Biopelículas con buenas capacidades de deformación, elasticidad y de barrera ante la transferencia de humedad fueron obtenidas con la incorporación del aceite esencial de orégano.   |
|                 | Harina de Quinoa.  |  |  |   |
|                 | Biopelículas de proteína de triticale                    |  |  |   |

|                 |   |   |  |  |
|-----------------|---|---|--|--|
| Limoncillo      | Biopelículas de almidón de yuca con pectina.<br>Acetato de celulosa.                                    | La permabilidad al vapor de agua y capacidad de elongación mejoraron notablemente tras la incorporación del aceite esencial de limoncillo. Todos los materiales poliméricos fueron capaces de inhibir el crecimiento microbiano.  | La incorporación del aceite esencial produjo resultados distintos en la resistencia y elasticidad de las biopelículas. Aquellas hechas con almidón y pectina fueron más resistentes, pero menos flexibles que las biopelículas elaboradas con acetato de celulosa.   | El aceite esencial en combinación con pectina y ésteres de celulosa permite obtener materiales muy resistentes y maleables.                  |
| Canela          | Biopelícula de almidón de yuca con bentionato de sodio.<br>Biopelículas de aislado de proteína de soya. | La elongación de las biopelículas elaboradas con almidón y proteína incrementaron al adicionar el aceite esencial. Todos los materiales poliméricos fueron capaces de inhibir el crecimiento microbiano.  | Las biopelículas de proteína con aceite esencial mejoraron en su capacidad de barrera al vapor de agua y resistencia, lo opuesto sucedió en los biopolímeros formados con almidón y bentionato de sodio.   | El aceite esencial otorgó a las biopelículas una mayor capacidad de deformación.   |
| Zataria y menta | Biopelícula de almidón de maíz.<br>Biopelículas de soya.  | Todas las propiedades físicas (contenido de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua) mejoraron con la incorporación de ambos aceites esenciales. Sin embargo, perdieron resistencia, pero mejoraron su capacidad de elongación. Todos los materiales poliméricos fueron capaces de inhibir el crecimiento microbiano. | Sin variaciones en las propiedades de ambas biopelículas.  | Biopelículas con buenas capacidades de barrera y deformación fueron obtenidas al emplear ambos aceites esenciales.                           |
| Tomillo         | Fibra dietética soluble de la pulpa de soya con pectina y CMC.<br>Harina de Quinua.                     | Todos los materiales poliméricos fueron capaces de inhibir el crecimiento microbiano.   | Las biopelículas de fibra combinadas con pectina y CMC fueron más resistentes y obtuvieron mejores capacidades de barrera ante el vapor de agua, pero resultaron menos maleables que aquellas formuladas con harina de quinua al incorporar el aceite esencial. En contraparte, la últimas presentaron una mejor capacidad de barrera ante la transferencia de humedad y fueron más resistentes al agua. | La combinación de aceite esencial de tomillo y harina de quinua dan como resultado biopelículas maleables con buenas capacidades de barrera. |



## 4.2 DISCUSIÓN.

En función de los resultados obtenidos se identificó que, con la incorporación de aceites esenciales, las biopelículas elaboradas a partir de almidón, harina, derivados de la celulosa y proteínas perdieron resistencia, pero fueron más maleables en comparación con las biopelículas de control (sin aceites esenciales). Además, adquirieron la capacidad de inhibir el crecimiento microbiano y mejoraron como barreras ante la transferencia de humedad y vapor de agua. Tales modificaciones en las propiedades mecánicas se deben a que los aceites esenciales tuvieron un efecto plastificante sobre los materiales poliméricos empleados como matriz formadora, causando que los enlaces inter- e intra- moleculares de los mismos se debilitaran mientras que las capacidades antimicrobianas y de barrera guardan relación con la estructura química de los aceites esenciales, la cual permite repeler el agua de la superficie así como deteriorar las células microbianas a través de una alteración en su membrana plasmática.

Dichos hallazgos coinciden con las investigaciones de Atarés y Chiralt (2016), Bartkowiak et al. (2015), Calva-Estrada et al., 2019, Castro-Rosas et al. (2016), Galus y Kadzińska (2015) y Ghadermazi et al (2019). Los investigadores analizaron la función de los aceites esenciales como aditivos en biopelículas para el envasado de alimentos y determinaron que la adición de estos compuestos lipídicos altera la estructura interna de las matrices poliméricas, causando un impacto en las propiedades físicas y mecánicas (generalmente una mejoría en las propiedades de barrera acompañada de una reducción en la resistencia). Asimismo, constataron que los aceites esenciales, al encontrarse constituidos en su mayoría por terpenoides y fenilpropanoides, pueden proporcionar biopelículas con propiedades antimicrobianas.

## **CONCLUSIONES.**

Se identificó que la adición de aceites esenciales produjo en las biopelículas una mejora significativa de la permeabilidad ante el vapor de agua acompañada de una disminución notable de la resistencia e incremento de las propiedades de elongación y elasticidad. Asimismo, generó un efecto inhibitorio ante el crecimiento microbiano en todos los materiales poliméricos.

Se realizó una investigación sobre los tipos de ensayos que se llevan a cabo durante el desarrollo de biopelículas. La resistencia a la tracción, capacidad de absorción de humedad, velocidad de transmisión de vapor de agua y la difusión con disco resultaron ser las pruebas más influyentes ya que de sus resultados dependerá la aplicación final del biopolímero.

Se determinó que los aceites esenciales de zataria, menta y limón al 1 % así como los provenientes de especies arbóreas como el cedro y fresno en concentraciones del 0,5 % resultaron ser los de mayor viabilidad en la elaboración de biopelículas, puesto que los materiales obtenidos presentaron mejores propiedades de barrera ante la transferencia de humedad, vapor de agua y crecimiento microbiano en comparación con aquellos biopolímeros producidos con aceites esenciales de limoncillo, canela, clavo de olor, orégano, tomillo, albahaca, lipia sidoides y jengibre.

## RECOMENDACIONES.

Con base en los resultados obtenidos en esta revisión se han expresado algunas sugerencias respecto al uso de aceites esenciales en el desarrollo de biopelículas:

- Trabajar con los aceites esenciales de zataria, menta, limón, cedro y fresno en concentraciones no mayores al 1%, ya que entre más alta sea la concentración menor será la resistencia al esfuerzo mecánico de la biopelícula obtenida, puesto que estas sustancias son capaces de reducir las interacciones entre las cadenas inter- e intramoleculares de las matrices polisacáridas y proteicas.
- Agentes de refuerzo como las nanoarcillas no deben adicionarse a la solución formadora ya que los aceites esenciales anulan los efectos que estos hayan producido inicialmente en las propiedades de las biopelículas.
- Limitar el uso de sustancias plastificantes ya que, al tratarse de compuestos higroscópicos, podrían causar inestabilidad en las propiedades físicas (contenido de humedad, solubilidad y permeabilidad) de los materiales poliméricos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul Khalil, H. P. S., Banerjee, A., Saurabh, C. K., Tye, Y. Y., Suriani, A. B., Mohamed, A., Karim, A. A., Rizal, S., & Paridah, M. T. (2018). Biodegradable Films for Fruits and Vegetables Packaging Application: Preparation and Properties. *Food Engineering Reviews*, *10*(3), 139-153. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9180-3>
- Adeyeye, O. A., Sadiku, E. R., Babu Reddy, A., Ndamase, A. S., Makgatho, G., Sellamuthu, P. S., Perumal, A. B., Nambiar, R. B., Fasiku, V. O., Ibrahim, I. D., Agboola, O., Kupolati, W. K., Daramola, O. O., Machane, M. J., & Jamiru, T. (2019). The Use of Biopolymers in Food Packaging. *Materials Horizons: From Nature to Nanomaterials*, 137-158. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-8063-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-13-8063-1_6)
- Aguirre, A., Borneo, R., & León, A. (2013). Antimicrobial, mechanical and barrier properties of triticale protein films incorporated with oregano essential oil. *Food Bioscience*, *1*, 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2012.12.001>
- Ansorena, M. R., Pereda, M., & Marcovich, N. E. (2018). Edible Films. *Polymers for Food Applications*, 5-24. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94625-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94625-2_2)
- Arora, B., Tandon, R., Attri, P., & Bhatia, R. (2017). Chemical Crosslinking: Role in Protein and Peptide Science. *Current Protein & Peptide Science*, *18*(9), 0. <https://doi.org/10.2174/1389203717666160724202806>
- Atarés, L., & Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, *48*, 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>

- Atarés, L., De Jesús, C., Talens, P., & Chiralt, A. (2010). Characterization of SPI-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 384–391. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.004>
- Augustyn, A. (2019, 4 diciembre). *Solvent*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/solvent-chemistry>
- Balvantín, A. (2016). *Ensayos y propiedades mecánicas de los materiales*. [Diapositivas]. Universidad de Guanajuato. <http://www.dicis.ugto.mx/profesores/balvantin/documentos/Ciencia>
- Bartkowiak, A., Mizieleńska, M. I., Sumińska, P., Romanowska-Osuch, A., & Lisiecki, S. I. (2015). Innovations in Food Packaging Materials. *Food Engineering Series*, 383-412. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24040-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24040-4_19)
- Bastos, M. D. S. R., Laurentino, L. D. S., Canuto, K. M., Mendes, L. G., Martins, C. M., Silva, S. M. F., Furtado, R. F., Kim, S., Biswas, A., & Cheng, H. (2016). Physical and mechanical testing of essential oil-embedded cellulose ester films. *Polymer Testing*, 49, 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.11.006>
- Bharti, S. K., Pathak, V., Alam, T., Arya, A., Basak, G., & Awasthi, M. G. (2020). Materiality of Edible Film Packaging in Muscle Foods: A Worthwhile Conception. *Journal of Packaging Technology and Research*, 4(1), 117-132. <https://doi.org/10.1007/s41783-020-00087-9>

- Bolívar-Monsalve, J., Ramírez-Toro, C., Bolívar, G., & Ceballos-González, C. (2019). Mechanisms of action of novel ingredients used in edible films to preserve microbial quality and oxidative stability in sausages - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 89, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.011>
- Calo, J. R., Crandall, P. G., O'Bryan, C. A., & Ricke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems – A review. *Food Control*, 54, 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.040>
- Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., & Lugo-Cervantes, E. (2019). Protein-Based Films: Advances in the Development of Biomaterials Applicable to Food Packaging. *Food Engineering Reviews*, 11(2), 78-92. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09189-w>
- Castro-Rosas, J., Cruz-Galvez, A. M., Gomez-Aldapa, C. A., Falfan-Cortes, R. N., Guzman-Ortiz, F. A., & Rodríguez-Marín, M. L. (2016). Biopolymer films and the effects of added lipids, nanoparticles and antimicrobials on their mechanical and barrier properties: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(9), 1967-1978. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13183>
- Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>
- Costa, M. J., Maciel, L. C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Cerqueira, M. A. (2018). Use of edible films and coatings in cheese preservation: Opportunities and challenges. *Food Research International*, 107, 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.013>

- De Ancos, B., González – Peña, D., Colina – Coca, C., & Sánchez – Moreno, C. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8-17. ISSN: 1665-0204.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=813/81339864002>
- Dhumal, C. V., & Sarkar, P. (2018). Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4369-4383.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3402-9>
- dos Santos Paglione, I., Galindo, M. V., de Medeiros, J. A. S., Yamashita, F., Alvim, I. D., Ferreira Grosso, C. R., Sakanaka, L. S., & Shirai, M. A. (2019). Comparative study of the properties of soy protein concentrate films containing free and encapsulated oregano essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100419.  
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100419>
- Echeverría, I., López-Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., Mauri, A. N., & Montero, M. P. (2016). Structure, Functionality, and Active Release of Nanoclay–Soy Protein Films Affected by Clove Essential Oil. *Food and Bioprocess Technology*, 9(11), 1937–1950. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1777-z>
- Erginkaya, Z., Kalkan, S., & Ünal, E. (2014). Use of Antimicrobial Edible Films and Coatings as Packaging Materials for Food Safety. *Food Engineering Series*, 261–295.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1378-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1378-7_10)

- Fernández Valdés, Daybelis, Bautista Baños, Silvia, Fernández Valdés, Dayvis, Ocampo Ramírez, Arturo, García Pereira, Annia, & Falcón Rodríguez, Alejandro. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-57. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542015000300008&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000300008&lng=es&tlng=es).
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011>
- Garrido, T., Uranga, J., Guerrero, P., & de la Caba, K. (2018). The Potential of Vegetal and Animal Proteins to Develop More Sustainable Food Packaging. *Polymers for Food Applications*, 25-59. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94625-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94625-2_3)
- Ghadermazi, R., Hamdipour, S., Sadeghi, K., Ghadermazi, R., & Khosrowshahi Asl, A. (2019). Effect of various additives on the properties of the films and coatings derived from hydroxypropyl methylcellulose—A review. *Food Science & Nutrition*, 7(11), 3363–3377. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1206>
- Ghasemlou, M., Aliheidari, N., Fahmi, R., Shojaee-Aliabadi, S., Keshavarz, B., Cran, M. J., & Khaksar, R. (2013). Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. *Carbohydrate Polymers*, 98(1), 1117–1126. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.026>
- Hammam, A. R. A. (2019). Technological, applications, and characteristics of edible films and coatings: a review. *SN Applied Sciences*, 1(6), 0. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0660-8>



- Horváth, G., Bencsik, T., Ács, K., & Kocsis, B. (2016). Sensitivity of ESBL-Producing Gram-Negative Bacteria to Essential Oils, Plant Extracts, and Their Isolated Compounds. *Antibiotic Resistance*, 239–269. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803642-6.00012-5>
- Iamareerat, B., Singh, M., Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2018). Reinforced cassava starch based edible film incorporated with essential oil and sodium bentonite nanoclay as food packaging material. *Journal of Food Science and Technology*, 55(5), 1953–1959. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3100-7>
- Jin, T. Z. (2017). Current State of the Art and Recent Innovations for Antimicrobial Food Packaging. *Microbial Control and Food Preservation*, 349-372. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7556-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7556-3_16)
- Ju, J., Chen, X., Xie, Y., Yu, H., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2019). Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 92, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.005>
- Kaewprachu, P., & Rawdkuen, S. (2016). Application of Active Edible Film as Food Packaging for Food Preservation and Extending Shelf Life. *Microbes in Food and Health*, 185-205. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-25277-3\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-25277-3_10)
- Kumar, A., Singh, P., Gupta, V., & Prakash, B. (2020). Application of nanotechnology to boost the functional and preservative properties of essential oils. *Functional and Preservative Properties of Phytochemicals*, 241–267. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818593-3.00008-7>

- Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2020). Edible Films and Coatings with Pectin. *Pectin: Technological and Physiological Properties*, 99-123. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9_6)
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Lin, D., Zheng, Y., Wang, X., Huang, Y., Ni, L., Chen, X., Wu, Z., Huang, C., Yi, Q., Li, J., Qin, W., Zhang, Q., Chen, H., & Wu, D. (2020). Study on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activity of okara soluble dietary fiber/sodium carboxymethyl cellulose/thyme essential oil active edible composite films incorporated with pectin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 1241–1249. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.005>
- La correcta especificación de los envases*. (2018, 30 noviembre). Ecoembes. <https://www.ecoembes.com/es/empresas/empresas-adheridas/publicaciones/la-correcta-especificacion-de-los-envases>
- Mangaraj, S., Yadav, A., Bal, L., Dash, S. K., & Mahanti, N. (2018). Application of Biodegradable Polymers in Food Packaging Industry: A Comprehensive Review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 3, 0. <https://doi.org/10.1007/s41783-018-0049-y>

- Mellinas, C., Valdés, A., Ramos, M., Burgos, N., Garrigós, M. C., & Jiménez, A. (2015). Active edible films: Current state and future trends. *Journal of Applied Polymer Science*, *133*(2), n/a. <https://doi.org/10.1002/app.42631>
- Mendes, J., Norcino, L., Martins, H., Manrich, A., Otoni, C., Carvalho, E., Piccoli, R., Oliveira, J., Pinheiro, A., & Mattoso, L. (2020). Correlating emulsion characteristics with the properties of active starch films loaded with lemongrass essential oil. *Food Hydrocolloids*, *100*, 105428. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105428>
- Metych, M. (2019, 20 marzo). *Emulsifier / chemistry*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/emulsifier>
- Miller, K., Silcher, C., Lindner, M., & Schmid, M. (2020). Effects of glycerol and sorbitol on optical, mechanical, and gas barrier properties of potato peel-based films. *Packaging Technology and Science*, *34*(1), 11-23. <https://doi.org/10.1002/pts.2536>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, *6*(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moreira, M. R., Alvarez, M. V., & Ponce, A. G. (2016). Essential Oils. *Postharvest Management Approaches for Maintaining Quality of Fresh Produce*, 113-124. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23582-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23582-0_7)
- Nisar, T., Wang, Z. C., Yang, X., Tian, Y., Iqbal, M., & Guo, Y. (2018). Characterization of citrus pectin films integrated with clove bud essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, *106*, 670–680. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.068>

- Ortiz, C. M., Salgado, P. R., Dufresne, A., & Mauri, A. N. (2018). Microfibrillated cellulose addition improved the physicochemical and bioactive properties of biodegradable films based on soy protein and clove essential oil. *Food Hydrocolloids*, 79, 416–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.011>
- Otoni, C. G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M. C., Lorevice, M. V., Moura, M. R., Mattoso, L. H. C., & McHugh, T. H. (2017). Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables-A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 1151-1169. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- Pagno, C. H., Klug, T. V., Costa, T. M. H., de Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2016). Physical and antimicrobial properties of quinoa flour-based films incorporated with essential oil. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(16), n/a. <https://doi.org/10.1002/app.43311>
- Paul, S. K. (2020). Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 363-376. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11509-7>
- Regubalan, B., Pandit, P., Maiti, S., Nadathur, G. T., & Mallick, A. (2018). Potential Bio-Based Edible Films, Foams, and Hydrogels for Food Packaging. *Bio-based Materials for Food Packaging*, 105–123. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1909-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1909-9_5)
- Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2020). Edible Films Prepared with Different Biopolymers, Containing Polyphenols Extracted from Elderberry (*Sambucus Nigra* L.), to Protect Food Products and to Improve Food Functionality. *Food and Bioprocess Technology*, 13(10), 1742-1754. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02516-8>

- Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., Melo, N. R., & Sanches-Silva, A. (2017). Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, *61*, 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.021>
- Rodriguez, F. (2020, 10 noviembre). *The Processing and Fabrication of Plastics*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/plastic/Injection-molding>
- Salarbashi, D., Tajik, S., Ghasemlou, M., Shojaee-Aliabadi, S., Shahidi Noghabi, M., & Khaksar, R. (2013). Characterization of soluble soybean polysaccharide film incorporated essential oil intended for food packaging. *Carbohydrate Polymers*, *98*(1), 1127–1136. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.031>
- Salgado, P. R., López-Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., Mauri, A. N., & Montero, M. P. (2013). Sunflower protein films incorporated with clove essential oil have potential application for the preservation of fish patties. *Food Hydrocolloids*, *33*(1), 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.02.008>
- Santos, M. I. S., Martins, S. R., Veríssimo, C. S. C., Nunes, M. J. C., Lima, A. I. G., Ferreira, R. M. S. B., Pedroso, L., Sousa, I., & Ferreira, M. A. S. S. (2017). Essential oils as antibacterial agents against food-borne pathogens: Are they as useful as they are claimed to be? *Journal of Food Science and Technology*, *54*(13), 4344-4352. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2905-0>
- Shen, Z., & Kamdem, D. P. (2015). Antimicrobial activity of sugar beet lignocellulose films containing tung oil and cedarwood essential oil. *Cellulose*, *22*(4), 2703-2715. <https://doi.org/10.1007/s10570-015-0679-y>

- Song, X., Zuo, G., & Chen, F. (2018). Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1302-1309.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.114>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>
- Tapia-Blácido, D. R., Maniglia, B. C., & Tosi, M. M. (2018). Transport Phenomena in Edible Films. *Polymers for Food Applications*, 149–192. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94625-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94625-2_7)
- Vázquez, A., Espinosa, R. M., Beltrán, M., & Velasco, M. (2018, septiembre). *Bioplásticos y plásticos degradables*. <https://anipac.com/wp-content/uploads/2018/09/bioplasticos.pdf>
- Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., Antunes, M. D. C., Nilsen-Nygaard, J., Pettersen, M. K., & Freire, C. S. R. (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 212-222.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.006>
- Vukić, M., Grujić, S., & Odzaković, B. (2017). Application of Edible Films and Coatings in Food Production. *Advances in Applications of Industrial Biomaterials*, 121-138.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-62767-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62767-0_7)

Wang, B., Sui, J., Yu, B., Yuan, C., Guo, L., Abd El-Aty, A., & Cui, B. (2021).

Physicochemical properties and antibacterial activity of corn starch-based films incorporated with *Zanthoxylum bungeanum* essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 254, 117314. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117314>

Yang, S. Y., Cao, L., Kim, H., Beak, S. E., & Song, K. B. (2017). Utilization of Foxtail Millet

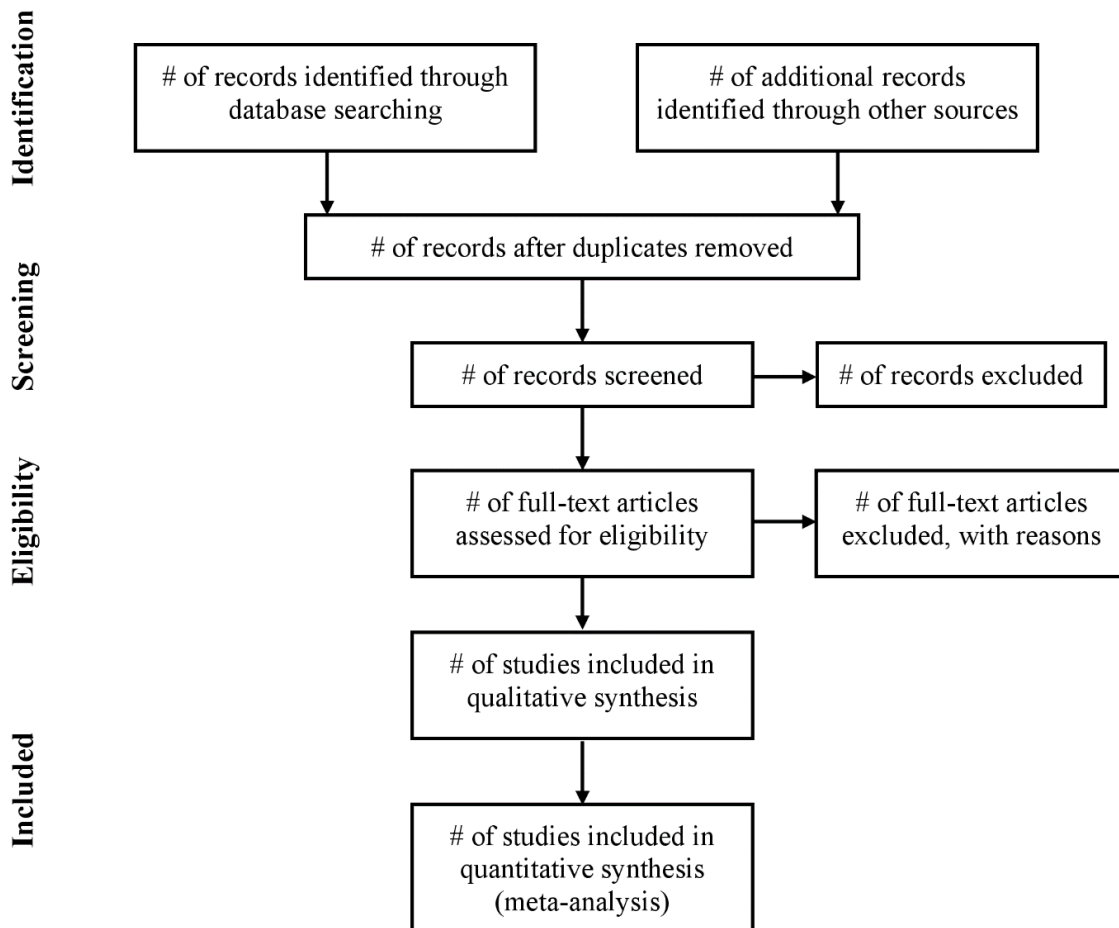
Starch Film Incorporated with Clove Leaf Oil for the Packaging of Queso Blanco Cheese as a Model Food. *Starch - Stärke*, 70(3–4), 1700171.

<https://doi.org/10.1002/star.201700171>

## ANEXOS

### ANEXO 1. FIGURAS.

Figura 5. Flujo de información a través de las diferentes fases de una revisión sistemática.



Nota: Recuperado de “The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Care Interventions: Explanation and Elaboration”, Liberati et al., 2019, *PLoS Med* 6(7): e1000100



## ANEXO 2. TABLAS.

**Tabla 7.** Lista de comprobación de los ítems a incluir en una revisión sistemática a un meta-análisis.

| Section and Topic             | Item # | Checklist item   | Location where item is reported |
|-------------------------------|--------|--|---------------------------------|
| <b>TITLE</b>                  |        |  |                                 |
| Title                         | 1      | Identify the report as a systematic review.  |                                 |
| <b>ABSTRACT</b>               |        |  |                                 |
| Abstract                      | 2      | See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.   |                                 |
| <b>INTRODUCTION</b>           |        |  |                                 |
| Rationale                     | 3      | Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.  |                                 |
| Objectives                    | 4      | Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.   |                                 |
| <b>METHODS</b>                |        |  |                                 |
| Eligibility criteria          | 5      | Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.  |                                 |
| Information sources           | 6      | Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.  |                                 |
| Search strategy               | 7      | Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.   |                                 |
| Selection process             | 8      | Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.                     |                                 |
| Data collection process       | 9      | Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process. |                                 |
| Data items                    | 10a    | List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.                        |                                 |
|                               | 10b    | List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.   |                                 |
| Study risk of bias assessment | 11     | Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of  |                                 |

| Section and Topic             | Item # | Checklist item  | Location where item is reported |
|-------------------------------|--------|---|---------------------------------|
|                               |        | automation tools used in the process.   |                                 |
| Effect measures               | 12     | Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.   |                                 |
| Synthesis methods             | 13a    | Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).  |                                 |
|                               | 13b    | Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.   |                                 |
|                               | 13c    | Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.  |                                 |
|                               | 13d    | Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used. |                                 |
|                               | 13e    | Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).  |                                 |
|                               | 13f    | Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.  |                                 |
| Reporting bias assessment     | 14     | Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).   |                                 |
| Certainty assessment          | 15     | Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.   |                                 |
| <b>RESULTS</b>                |        |   |                                 |
| Study selection               | 16a    | Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.  |                                 |
|                               | 16b    | Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.   |                                 |
| Study characteristics         | 17     | Cite each included study and present its characteristics.   |                                 |
| Risk of bias in studies       | 18     | Present assessments of risk of bias for each included study.  |                                 |
| Results of individual studies | 19     | For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.                            |                                 |
| Results of syntheses          | 20a    | For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.  |                                 |

| Section and Topic                              | Item # | Checklist item   | Location where item is reported |
|--|--------|--|---------------------------------|
|  | 20b    | Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect. |                                 |
|  | 20c    | Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.   |                                 |
|  | 20d    | Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.   |                                 |
| Reporting biases                               | 21     | Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.  |                                 |
| Certainty of evidence                          | 22     | Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.  |                                 |
| <b>DISCUSSION</b>                              |        |  |                                 |
| Discussion                                     | 23a    | Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.  |                                 |
|  | 23b    | Discuss any limitations of the evidence included in the review.  |                                 |
|  | 23c    | Discuss any limitations of the review processes used.  |                                 |
|  | 23d    | Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.   |                                 |
| <b>OTHER INFORMATION</b>                       |        |  |                                 |
| Registration and protocol                      | 24a    | Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.   |                                 |
|  | 24b    | Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.   |                                 |
|  | 24c    | Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.  |                                 |
| Support  | 25     | Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.  |                                 |
| Competing interests                            | 26     | Declare any competing interests of review authors.   |                                 |
| Availability of data, code and other materials | 27     | Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.   |                                 |

*Nota:* Recuperado de “The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Care Interventions: Explanation and Elaboration”, Liberati et al., 2019, *PLoS Med* 6(7): e1000100