



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Nanofibras poliméricas:  
Una alternativa de conservación de  
productos hortofrutícolas**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**HECTOR IVAN ZAPIEN MORENO**

**ASESORES:**

**DR. RICARDO MOISÉS GONZÁLEZ REZA  
DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE



ASENTO: VOTO APROBATORIO

UNAM

CUAUTITLÁN  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN  
Jefe del Departamento de Titulación  
de la FES Cuautitlán.

ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis y Examen Profesional**

**Nanofibras poliméricas: Una alternativa de conservación de productos hortofrutícolas.**

Que presenta el pasante: **Hector Ivan Zapien Moreno**

Con número de cuenta: **411017121** para obtener el título de: **Ingeniero en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 28 de noviembre de 2022.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
<b>VOCAL</b>	I.A. Zaira Berenice Guadarrama Álvarez	
<b>SECRETARIO</b>	Dr. Ricardo Moisés González Reza	
<b>1er. SUPLENTE</b>	M. en C. Paulina Fuentes Vázquez	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Dra. Claudia Idalid García Betanzos	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

MCVB/javg

## **El presente proyecto fue financiado por:**

El proyecto **PAPIME PE206421** de la UNAM: “Enseñanza, implementación de metodologías y elaboración de material audiovisual sobre procesos no térmicos como alternativa y área de oportunidad en la conservación de alimentos”.

El proyecto **PAPIIT IN222520**, “Manufactura, evaluación, caracterización y uso de sistemas nanoestructurados en el incremento de vida útil de alimentos”.

El proyecto de **Catedra CI2233** de la FESC: “Extracción, caracterización y manufactura de sistemas nanoestructurados naturales como coadyuvantes en el proceso con tecnologías emergentes para la conservación de alimentos”

## **Lugar de realización de la tesis:**

Laboratorio de Procesos de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, donde me dio la oportunidad entrar a la máxima casa de estudios de México, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), lugar donde conocí a profesores con vocación y paciencia para poder elaborar esta tesis.

Gracias al profesor Dr. Ricardo Moisés Gonzales Reza y a la Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza por haberme permitido conocer un poco de su laboratorio de nanotecnología lleno de una mezcla de conocimientos en nuevas tecnologías con enseñanzas en innovación y técnicas, que me crearon un gran interés en la materia.

A todos los profesores que durante la carrera me compartieron sus conocimientos y experiencias.

Gracias a mi familia y amistades por su apoyo en esta etapa de mi vida, donde experimente un sinfín de emociones y siempre me motivaron para no rendirme.

# ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	3
<b>CAPÍTULO I. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL</b>	<b>4</b>
1.1    Objetivos	4
1.2    Descripción del método de recopilación de información documental	4
1.2.1    Selección del tema	4
1.2.2    Acopio de fuentes de información	4
1.2.3    Organización de los datos y elaboración de un esquema conceptual del tema	5
1.2.4    Análisis de los datos obtenidos	6
1.2.5    Informe de la investigación y presentación final	6
<b>CAPÍTULO II. TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS HORTOFRUTICOLAS</b>	<b>7</b>
2.1    Definición de productos hortofrutícolas	7
2.2    Hortalizas	7
2.3    Frutas	8
2.4    Procesos de degradación en productos hortofrutícolas	8
2.4.1    Respiración, transpiración y producción de etileno	9
2.4.2    Factores extrínsecos e intrínsecos	11
2.4.3    Operaciones unitarias en la conservación de productos hortofrutícolas	16
2.4.3.1    Pasteurización	17
2.4.3.2    Esterilización	18
2.4.3.3    Refrigeración	19
2.4.3.4    Congelación	20
2.4.3.5    Deshidratación	20
2.5    Nuevas tendencias de conservación de productos hortofrutícolas	21
2.5.1    Envases activos	22
2.5.2    Atmosferas modificadas	24
2.5.2.1    Recubrimientos comestibles	27
2.5.3    Nanotecnología	29
2.5.3.1    Nanoencapsulación	31
<b>CAPÍTULO III. APLICACIÓN DE NANOFIBRAS EN ALIMENTOS</b>	<b>34</b>
3.1    Definición	34

3.2	Polímeros utilizados en la fabricación de nanofibras	34
3.2.1	Quitosán	36
3.2.2	Zeína	36
3.2.3	Pectinas	37
3.2.4	Carragenina	37
3.2.5	Grenetina	37
3.2.6	Pululano	38
3.2.7	Etil celulosa	38
3.2.8	Poly- $\epsilon$ -caprolactona	39
3.3	Sustancias activas	39
3.3.1	Antioxidantes	40
3.3.2	Aceites esenciales	41
3.4	Método de electrohilado	42
3.4.1	Componentes del equipo de electrohilado	43
3.4.2	Parámetros de procesamiento	45
3.4.2.1	Voltaje	45
3.4.2.2	Velocidad de inyección	46
3.4.2.3	Distancia entre la punta de la aguja y el colector	47
3.4.2.4	Diámetro interno de la aguja	48
3.4.2.5	Parámetros ambientales	48
3.4.2.6	Parámetros de la solución	49
3.4.3	Caracterización de nanofibras	53
3.4.3.1	Morfología	53
3.4.3.2	Propiedades estructurales	54
3.4.3.3	Propiedades mecánicas	55
3.4.3.4	Propiedades térmicas	56
3.4.4	Desarrollo de materiales y aplicación de nanofibras en alimentos	56
<b>CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DE NANOFIBRAS EN PRODUCTOS HORTÍCOLAS</b>		<b>59</b>
4.1	Componentes activos aplicados en la conservación de alimentos por nanofibras.	59
4.2	Polímeros utilizados en la formación de nanofibras	62
4.3	Aplicaciones de diferentes polímeros y sustancias activas en el aumento de vida útil de productos hortofrutícolas	64
<b>CAPITULO V. NORMATIVIDAD DE NANOTECNOLOGÍA EN ALIMENTOS</b>		<b>67</b>
5.1	Normatividad nacional	67
5.2	Normatividad internacional	68

5.3	Regulación de Nanotecnología en América Latina	69
5.4	Normatividad Europea	69
5.5	Estados Unidos de América	70
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Efecto respiración, transpiración y producción de etileno, Adaptado (IICA, 2012).	11
<b>Figura 2.</b>	Interacción de los factores extrínsecos e intrínsecos que determinan el crecimiento bacteriano y fúngico, Adaptado (De La Fuente-Salcido et al., 2017).	12
<b>Figura 3.</b>	Unidad de pasteurización eficaz para un tratamiento del calor rentable de productos alimenticios preparados (Tetrapak,2022).	17
<b>Figura 4.</b>	Esterilizador UHT tipo placa, utilizado en líneas de producción de jugo (Foodmachinery, 2022).	19
<b>Figura 5.</b>	Congelación de alimentos (Asrefrigeracion, 2022)	20
<b>Figura 6.</b>	Acondicionamiento de producto en fresco mínimamente procesado (Poscosecha, 2020).	21
<b>Figura 7.</b>	Envase activo que alarga la vida útil de la fruta pelada y cortada (F&H, 2015).	23
<b>Figura 8.</b>	Envase en atmosferas modificadas (La hostelera, 2019).	27
<b>Figura 9.</b>	Nanotecnología en alimentos. Adaptado (Santaya, 2018).	31
<b>Figura 10.</b>	Imágenes microscopio electrónico de barrido de nanofibras (Quintana, 2016).	33
<b>Figura 11.</b>	Bioplásticos basados en fuentes renovables. Adaptado (Mexpolímeros, 2022).	35
<b>Figura 12.</b>	Representación esquemática del electrohilado formulado con polímeros y sustancias activas. Adaptado (Jain et al., 2020).	40
<b>Figura 13.</b>	Equipo de electrohilado a nivel laboratorio (Inovenso, 2022).	43
<b>Figura 14.</b>	Solución en ausencia de un campo eléctrico, b) Solución sometida a una carga eléctrica de 10 Kv (Yu et al., 2011).	44
<b>Figura 15.</b>	Ensamble de la técnica de electrohilado. Adaptado (Duque Sánchez et al., 2014).	45
<b>Figura 16.</b>	Fibra eyectada desde el cono de Taylor (Castañon, 2014).	46
<b>Figura 17.</b>	Imágenes microscópicas de fibras recolectadas a diferentes distancias a) 5 cm, b) 15 cm, c) 18 cm y d) 22cm (Yu et al., 2011).	47
<b>Figura 18.</b>	Imágenes microscópicas diferentes diámetros de nanofibras a) $176.81 \pm 43.14$ nm, b) $379.07 \pm 100.14$ nm (Duan et al., 2021).	48
<b>Figura 19.</b>	Micrografías electrónicas de barrido de fibras electrohiladas a partir de soluciones de quitosano al 6% en peso (1:1, p/p) con diferentes masas moleculares a) 600 kDa, b)1500 kDa, c) 2300 kDa, d) 4000 kDa (Duan et al., 2012).	50
<b>Figura 20.</b>	Efecto de la viscosidad de las soluciones poliméricas sobre la morfología de la nanofibras (Orozco, 2013).	51
<b>Figura 21.</b>	Micrografía electrónica de barrido morfología de nanofibras (Dai, 2016).	54
<b>Figura 22.</b>	La $\alpha$ y la $\beta$ ciclodextrina son nanofibras que tienen una estructura cristalina (Celebioglu & Uyar, 2013).	55

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Esquema conceptual de la revisión documental	5
<b>Tabla 2.</b> Ritmo respiratorio de algunas frutas tropicales (Kader, A.A.,1992)	9
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de algunas frutas tropicales según su producción de etileno. Adaptado de: (Kader, A.A., 1992).	11
<b>Tabla 4.</b> Factores intrínsecos que influyen en el crecimiento microbiano en los alimentos. Adaptado (Cuadrado Cano & Vélez Castro, 2018).	13
<b>Tabla 5.</b> Aplicación de los envases antimicrobianos en productos hortofrutícolas. Adaptado (Martínez Tenorio & López Malo, 2018).	24
<b>Tabla 6.</b> Condiciones de almacenamiento en atmósferas modificadas de algunos productos hortofrutícolas (Barreiro-Méndez & Sandoval-Briceño, 2006).	26
<b>Tabla 7.</b> Algunos aditivos utilizados como agentes de recubrimiento en productos hortofrutícolas (Diario Oficial de la Unión Europea, 2012).	29
<b>Tabla 8.</b> Componentes activos aplicados en la conservación de alimentos por nanofibras.	59
<b>Tabla 9.</b> Polímeros utilizados en la formación de nanofibras	62
<b>Tabla 10.</b> Aplicaciones de diferentes polímeros y sustancias activas en el aumento de vida útil de productos hortofrutícolas.	64
<b>Tabla 11.</b> Norma vigente mexicana sobre nanomateriales manufacturados (Diario Oficial de la Federación, 2017).	67

## RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es dar a conocer cómo el desarrollo de la nanotecnología ha tenido un gran avance en la conservación de productos hortofrutícolas enteros o envasados, enfocado en la fabricación de fibras a nivel nanométrico, explicando estos recubrimientos comestibles que mejoran la vida útil del almacenamiento de productos perecederos. El primer capítulo de la investigación aborda el diseño metodológico de la investigación, como se efectuó el estudio, procedimientos o métodos utilizados y herramientas que se utilizaron para recolectar los datos mediante la revisión con registros bibliográficos especializados. En el segundo capítulo se recaba información de las nuevas tecnologías de conservación de productos hortofrutícolas y cómo protegerlos mediante la utilización de nuevas tecnologías. En el tercer capítulo se resume el método de preparación de nanofibras mediante el proceso de electrohilado y sus componentes, desde su método hasta su aplicación en productos alimenticios. En el capítulo cuatro se menciona las aplicaciones en el envasado y desarrollo de recubrimientos, dando a conocer como esta innovación ayuda a mantener una calidad optima en los alimentos mediante el desarrollo de sistemas bioactivos. En último capítulo se revisa como esta innovación permitirá una legislación específica para producir nanomateriales.

## INTRODUCCIÓN

La investigación para el desarrollo de materiales biodegradables a partir de fuentes renovables va en aumento, razón por la que existe gran interés en el empleo de biopolímeros de origen natural provenientes de subproductos y otras fuentes abundantes en la naturaleza (De Jesus Silva & D'Almeida, 2009).

El electrohilado para la fabricación de fibras formuladas con biopolímeros ofrece capacidades únicas en el desarrollo de nuevos productos. Las fibras preparadas mediante este método por lo general tienen diámetros muy pequeños. El electrohilado de fibras naturales ha ganado mucha atención en los últimos años como un método barato y sencillo para producir nanofibras (Haghi & Akbari, 2007).

Este método se basa en la acción de fuerzas electrostáticas bajo un chorro de solución polimérica generando su deformación hasta diámetros de escala submicrómica, evaporación y solidificación sobre un colector metálico (Kim et al., 2006). El proceso de electrohilado es utilizado en los alimentos para mantener su calidad en un período de producción, transporte y almacenamiento. El principal objetivo es la preservación de los productos alimenticios de la degradación biológica. Por lo tanto, retrasa el deterioro de los alimentos y facilita su transporte y distribución (Aman Mohammadi et al., 2020).

Las nanofibras en la conservación de alimentos son de interés, ya que se ha mostrado que tienen la habilidad de modificar las propiedades mecánicas y de barrera de los materiales de envase y recubrimientos comestibles atribuido a la elongación de éstas y a su biocompatibilidad con los sistemas alimenticios ofreciendo una mejora potencial de solubilidad y biodisponibilidad de ingredientes funcionales (Yuan et al., 2008).

Un creciente interés en el uso de fibras electrohiladas en industrias alimentarias ha encontrado la encapsulación de ingredientes alimentarios, enzimas y otros compuestos relacionados con la actividad antibacteriana, beneficiando la conservación del alimento y evitando el uso de sustancias tóxicas. Las aplicaciones específicas propuestas de dichos compuestos son el envasado activo o la preservación de la actividad de los nutrientes (Ghorani & Tucker, 2015).

Se espera proporcionar nuevos conocimientos sobre el mecanismo de acción y difusión de bioactivos encapsulados para proteger sistemas alimentarios con propiedades sensoriales convenientes para la aplicación en alimentos sólidos y semisólidos (López-Rubio & Lagaron, 2012).

El proceso de electrohilado protege los ingredientes activos de varios factores adversos como luz, calor, agua, pH, enzimas y oxígeno que afectan su estabilidad. Además puede mejorar las características organolépticas del producto, enmascarar el sabor, aroma, color y textura (Drosou et al., 2017). En los productos hortícolas existen estudios en los que destacan los recubrimientos comestibles que reducen la velocidad de respiración, retienen la firmeza y controlan el crecimiento microbiano, los nanorecubrimientos se aplican directamente sobre la superficie formando una fina membrana, invisible a simple vista, esto con la finalidad de incrementar su vida útil (Zambrano-Zaragoza et al., 2020).

Otro enfoque en el futuro de las nanofibras es la investigación de envases inteligentes mediante materiales elaborados a base del electrohilado, ya que se han observado mejoras en comparación con películas convencionales (Topuz & Uyar, 2020).

De acuerdo con lo antes expuesto, es necesario realizar una revisión con base en las nuevas investigaciones en el etiquetado de alimentos mediante un marco regulatorio que incorporen nanotecnologías ayudando a divulgar cualquier información relacionada con nano-productos (Beaudoin et al., 2013). En resumen, se pretende dar a conocer varias revisiones de la literatura científica internacional que den información creíble dentro de la industria de alimentos.

## JUSTIFICACIÓN

Las nanofibras pueden ser utilizadas para proteger alimentos, existe un gran interés en la formación de nuevas matrices de biopolímeros en nanofibras que han sido ampliamente utilizadas para la conservación de alimentos, sin embargo, es necesario conocer las cualidades que ofrecen al incorporarlos como recubrimientos, y más importante aún, seguir creando nanofibras portadoras de sustancias activas con propiedades mecánicas mejoradas. Existe una amplia variedad de sustancias activas que requieren de investigación científica para el procesamiento que conlleva a mejorar los sistemas de envase sin problemas asociados con la toxicidad. Por lo tanto, se está optando por el uso de nuevas tecnologías que no impliquen la aplicación de materiales contaminantes. Por ejemplo, el electrohilado que es un método simple y versátil para producir fibras a través de una solución polimérica con propiedades físicas, mecánicas y eléctricas asociadas a su alta área superficial y porosidad. Es por ello, que la ingeniería en alimentos se ha enfocado en esta técnica para desarrollar o modificar componentes activos para proteger los alimentos de las condiciones a los que se someten durante su procesamiento.

# CAPÍTULO I. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

## 1.1 Objetivos

### *Objetivo general*

Seleccionar información bibliográfica y hemerográfica sobre nano-fibras, a partir de los fundamentos teórico-científicos que lleven a la actualización de la aplicación en productos hortícolas como información necesaria para los alumnos y egresados de la carrera de Ingeniería en Alimentos y afines.

### *Objetivos particulares*

1. Realizar la descripción de las características principales de nanofibras tomando en consideración los criterios para su uso en alimentos.
2. Documentar y analizar de acuerdo con los reportes bibliográficos, los criterios de proceso y composición de nanofibras.
3. Documentar los métodos de caracterización de nanofibras por electrohilado.
4. Analizar la información publicada en revistas indizadas sobre la aplicación de nanofibras en productos hortofrutícolas y su efecto en el incremento de vida útil.
5. Establecer los criterios toxicológicos y de seguridad relacionados con la aplicación de la nanotecnología en alimentos y particularmente nanofibras.

## 1.2 Descripción del método de recopilación de información documental

### 1.2.1 Selección del tema

Nanofibras poliméricas: Una alternativa de conservación de productos hortofrutícolas.

### 1.2.2 Acopio de fuentes de información

Se desarrollo la investigación, para el logro de los objetivos planeados, la revisión de los documentos se basó principalmente en una búsqueda bibliográfica de artículos científicos relacionados a la aplicación de nanofibras en la problemática de la conservación de productos hortofrutícolas frescos. Así mismo, se realizó una búsqueda sobre la situación actual que existe alrededor de la legislación vigente que regula la utilización de nanomateriales en el sector alimenticio. Para ello, se consultaron distintas bases de datos científicas, entre de ellas ScienceDirect, Scopus, también se utilizaron libros, tesis, páginas de internet, videos, periódicos y revistas digitales para desarrollar una visión general de las nanofibras.

También se consultaron bases de datos de autoridades relacionadas con los alimentos como La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), La Administración de Medicamentos y Alimentos de los EE.UU. (FDA), Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), en relación con el desarrollo de nanofibras para su utilización en productos hortofrutícolas.

### 1.2.3 Organización de los datos y elaboración de un esquema conceptual del tema

**Tabla 1.** Esquema conceptual de la revisión documental

Referencia	Contenido	Análisis documental	Palabras clave
<b>Capítulo I</b>	Metodología de investigación documental.	Resúmenes. Tesis.	Análisis documental. Síntesis. Investigación científica.
<b>Capítulo II</b>	Tecnologías de conservación de productos hortofrutícolas.	Artículos académicos. Tesis. Libros.	Agricultura. Alimentación. Hortofrutícola.

		Videos.	Métodos de conservación.
<b>Capítulo III</b>	Aplicación de nanofibras en alimentos.	Artículos académicos. Tesis. Libros. Revistas digitales.	Nanotecnología. Nanofibras Electrohilado. Propiedades de las nanofibras.
<b>Capítulo IV</b>	Aplicación de nanofibras en productos hortícolas.	Artículos académicos. Tesis. Libros. Revistas digitales.	Recubrimientos. Funcionalidad. Innovación. Desarrollo de nuevas tecnologías.
<b>Capítulo V</b>	Normatividad en aplicaciones de nanofibras en alimentos.	Páginas oficiales de regulaciones internacionales. Tesis.	Legislación. Normas Internacionales.

#### 1.2.4 Análisis de los datos obtenidos

Mediante el esquema conceptual se procedió a desarrollar los puntos indicados, analizando los documentos de distintos autores, sintetizando los elementos más significativos que responden a los objetivos planeados.

#### 1.2.5 Informe de la investigación y presentación final

Se elaboró la redacción mediante elementos estructurales que ya han sido definidos para facilitar la comprensión del lector.

## **CAPÍTULO II. TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS HORTOFRUTICOLAS**

### **2.1 Definición de productos hortofrutícolas**

Desde el punto de vista químico, los productos hortofrutícolas son productos ricos en agua, pobres en proteínas (contenido en torno al 1-4% , en general en hortalizas y algo inferior en frutas) y lípidos (cantidades muy bajas, generalmente menores del 0.5- 0.6%) y con diferencias entre ambos tipos de vegetales y carbohidratos se refiere; en las frutas suelen encontrarse estos últimos entre el 1 y 8%, con algunas excepciones, con valores superiores al 10% de azúcares totales (carbohidratos disponibles), mientras que en las hortalizas este grupo de componentes está, habitualmente, entre el 1% y el 6%. (Belitz y Gosch, 1997).

Las frutas y hortalizas frescas reciben el nombre de productos perecibles porque tienen una tendencia inherente a deteriorarse por razones fisiológicas y por la invasión de plagas, infecciones y enfermedades. Las pérdidas postcosecha ocurren en cualquier etapa de cadena de producción, se pueden iniciar durante la cosecha, después durante el acopio, distribución y finalmente cuando el consumidor compra y consume el producto (FAO, 1989).

### **2.2 Hortalizas**

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) denomina hortalizas o verduras a aquellas que incluyen algunas frutas, por ejemplo, (tomates y calabazas), hojas (amaranto y repollo), raíces (zanahorias y nabo) e inclusive tallos (apio) y flores (coliflor). Hortaliza es un vocablo útil en nutrición y en terminología doméstica. Las hortalizas son una parte muy importante de la dieta. Casi todas son ricas en caroteno y vitamina C y contienen importantes cantidades de calcio, hierro y otros minerales. Su contenido en vitaminas B y proteína generalmente es pequeño (FAO, 2002).

### 2.3 Frutas

Muchas frutas crecen silvestres o se cultivan en países tropicales. Las variedades disponibles en cualquier momento en un área denominada dependen del clima, los gustos locales por las frutas, las especies cultivadas y la estación del año. El principal aspecto nutritivo de las frutas es contenido en vitamina C, que casi siempre es alto. Algunas frutas además contienen cantidades útiles de caroteno. Las frutas (excepto el aguacate o palta) tienen muy poca grasa o proteína y generalmente no contienen almidón. Los carbohidratos están en forma de diversos azúcares. Las frutas cítricas, como naranjas, limones, pomelos, mandarinas y limas, contienen buenas cantidades de vitamina C, pero poco caroteno. En contraste, la papaya y el mango contienen caroteno y vitamina C (FAO, 2002a).

Las frutas son infrutescencias o partes carnosas de órganos florales que han alcanzado un grado de madurez adecuado y que son aptas para el consumo. Botánicamente un fruto es un ovario maduro, es decir el órgano portador de la semilla. Cualquiera que sea su origen, el fruto está compuesto principalmente por tejido parenquimatoso (Astiasarán, 2000).

### 2.4 Procesos de degradación en productos hortofrutícolas

La calidad de un producto se diferencia por las propiedades sensoriales, como el color, firmeza y sabor, por lo que cambios en estas propiedades podrían influir en la vida útil y aceptabilidad (Krasaekoopt & Bhandari, 2011). Si un producto se presenta con una apariencia blanda o flácida puede conllevar rechazo de los consumidores (Rico et al., 2007). La textura está relacionada en gran medida por la anatomía física del tejido, particularmente por el tamaño, forma y empaquetado celular, el espesor y la fuerza de la pared celular y el grado de adhesión célula a célula, junto con el estado de turgencia (Toivonen & Brummell, 2008).

Los frutos presentan un ablandamiento consecuencia de proceso bioquímicos y físicos que alteran sus propiedades sensoriales (Nishiyama et al., 2007). Debido a su actividad celular y metabolismo estos productos son altamente perecederos (Dos Santos et al., 2015). La

tecnologías apropiadas para mantener la calidad, dependen del conocimiento de la estructura del fruto, la fisiología y las transformaciones metabólicas (Pech et al., 2013).

#### 2.4.1 Respiración, transpiración y producción de etileno

*Respiración:* El principal proceso fisiológico que conduce a la senescencia es la respiración, que es la oxidación biológica que lleva a la descomposición del fruto por oxidación de moléculas de sustratos complejos, tales como el almidón, azúcares y ácidos orgánicos a moléculas más simples como el CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Blandón, 2012).

*Respiración aerobia:* La respiración depende de la presencia de aire abundante. El aire contiene alrededor de un 20% de oxígeno, que es esencial para el proceso normal de respiración de los productos hortofrutícolas, en el que los almidones y los azúcares reaccionan dando como resultado en dióxido de carbono y vapor de agua.

*Respiración anaerobia:* Cuando disminuye la disponibilidad de aire y la proporción de oxígeno en el entorno se reduce la respiración e inicia un proceso de fermentación que descompone los azúcares en alcohol y dióxido de carbono, y ese alcohol hace que el producto tenga un sabor desagradable y promueve el envejecimiento prematuro (Arroyo et al., 2018).

En general, cuanto mayor es la velocidad de respiración del producto, menor es su vida útil de almacenamiento. Al respecto, los cítricos, la piña y la papaya tienen ritmos respiratorios bajos; en tanto que el plátano es ligeramente mayor (Tabla 2). (Kader, A.A., 1992).

**Tabla 2.** Ritmo respiratorio de algunas frutas tropicales (Kader, A.A.,1992)

Ritmo de respiración	Rango de respiración a 5 °C (mg CO <sub>2</sub> /Kg/h)	Producto
<b>Bajo</b>	5-10	Cítricos, papaya, piña, melón, sandía
<b>Moderado</b>	10-20	Mango, plátano

<b>Alto</b>	20-40	Aguacate
-------------	-------	----------

*Transpiración:* La transpiración es el proceso por el cual el producto pierde humedad, o contenido en agua, que pasa al ambiente por evaporación y difusión. Se trata de un proceso físico de transferencia de masa, en el cual el vapor de agua pasa de la superficie de la fruta al aire que lo rodea (Gregori, 2007).

Las frutas y hortalizas frescas están constituidas fundamentalmente por agua y la transpiración es la evaporación de parte de esta agua, lo que origina su deshidratación, que puede impedirse reduciendo la intensidad de transpiración. La transpiración se da cuando existe una diferencia entre la presión de vapor de la atmósfera interna de los tejidos y el ambiente donde se encuentran. Mientras mantengan esta diferencia la transpiración continuara (Muñoz-Delgado, 1985).

*Producción de etileno:* El etileno se produce en la mayoría de los tejidos de las plantas (Oms-Oliu et al., 2011). En los frutos existen dos sistemas distintivos de biosíntesis. El primer sistema corresponde a una baja producción de etileno en el periodo pre-climatérico de los frutos climatéricos y está presente a lo largo del desarrollo de frutos no climatéricos. El segundo se refiere a una producción de etileno autorregulatoria llamada “síntesis auto catalítica” y es específica para frutos climatéricos (Bapat et al., 2010).

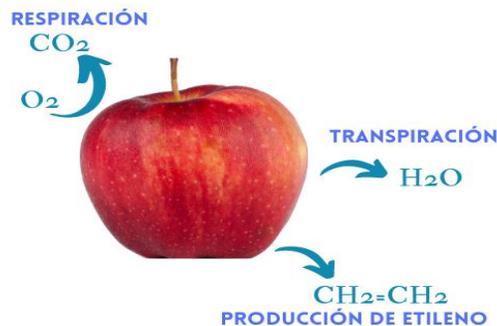
Es decir, al inicio de la maduración, los frutos climatéricos presentan un punto máximo de respiración, seguido por un incremento en la producción de etileno, mientras que en los frutos no climatéricos, la maduración es independiente (Asif et al., 2009). El etileno es una sustancia natural que producen las frutas, es un compuesto sustituido por dos átomos de carbono y un enlace insaturado doble. Aún a niveles bajos menores que 1 parte por millón (ppm), el etileno es fisiológicamente activo, ejerciendo gran influencia sobre los procesos de maduración y senescencia de las frutas, influyendo de esta manera en la calidad de las mismas (Arias Velázquez & Toledo Hevia, 2007).

El nivel de etileno en frutas aumenta con la madurez del producto, el daño físico, incidencia de enfermedades y temperaturas altas. El almacenamiento refrigerado y el uso

de atmósferas con menos de 8% de O<sub>2</sub> y más de 2 % de CO<sub>2</sub>, contribuyen a mantener bajos niveles de etileno en el ambiente postcosecha (Acuña, 2009).

**Tabla 3.** Clasificación de algunas frutas tropicales según su producción de etileno. Adaptado de: (Kader, A.A., 1992).

Clase	Etileno (mL/kg/h a 20°C)	Producto
Muy bajo	<0.1	Cítricos
Bajo	<0.1-1.0	Piña, melón, sandía
Moderado	1.0-10.0	Mango, melón, plátano
Alto	10.0-100.0	Aguacate, papaya
Muy alto	>100.0	Maracuyá



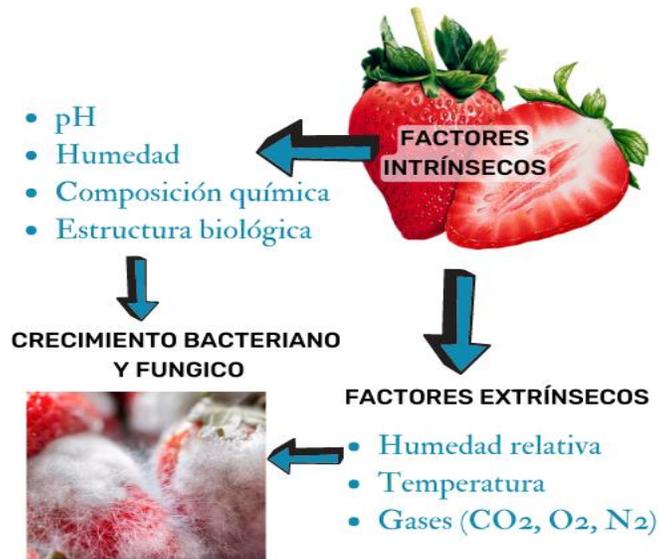
**Figura 1.** Efecto respiración, transpiración y producción de etileno, Adaptado (IICA, 2012).

#### 2.4.2 Factores extrínsecos e intrínsecos

El deterioro producido por microorganismos en los productos hortofrutícolas almacenados depende de una serie de factores que pueden clasificarse como extrínsecos e intrínsecos. Los factores extrínsecos se asocian a las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad relativa y la tensión de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Los factores intrínsecos están

relacionados con la composición química y las propiedades físicas de los productos (Castellari et al., 2015).

Estos factores que dependen del tipo de producto hortofrutícola influyen el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras. La humedad, la temperatura de almacenamiento, el tipo y la concentración de gases, el embalaje es el factor extrínseco más importante para extender la vida útil (De La Fuente-Salcido et al., 2017).



**Figura 2.** Interacción de los factores extrínsecos e intrínsecos que determinan el crecimiento bacteriano y fúngico, Adaptado (De La Fuente-Salcido et al., 2017).

Los parámetros intrínsecos y extrínsecos considerados simultáneamente, representan los modos naturales de preservación de los tejidos vegetales y una vez determinados, es posible pronosticar los microorganismos que más probablemente se van a desarrollar, y en consecuencia, prever la estabilidad general del producto en cuestión (Cuadrado Cano & Vélez Castro, 2018).

**Tabla 4.** Factores intrínsecos que influyen en el crecimiento microbiano en los alimentos. Adaptado (Cuadrado Cano & Vélez Castro, 2018).

FACTOR	CARACTERÍSTICAS	RELACIÓN CON LOS ALIMENTOS	RELACIÓN CON LOS MICROORGANISMOS	CONTROL										
<b>pH</b>	Indica la acidez titulable, es un mejor indicador de la estabilidad microbiológica de ciertos alimentos, midiendo la cantidad de iones hidrógeno liberados de un ácido disociado durante la titulación.	<p>La mayoría de las frutas son moderadamente ácidas.</p> <table border="1" data-bbox="856 740 1127 976"> <thead> <tr> <th>Fruta</th> <th>pH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plátano</td> <td>4.93</td> </tr> <tr> <td>Manzana</td> <td>3.47</td> </tr> <tr> <td>Papaya</td> <td>5.78</td> </tr> <tr> <td>Mandarina</td> <td>3.20</td> </tr> </tbody> </table>	Fruta	pH	Plátano	4.93	Manzana	3.47	Papaya	5.78	Mandarina	3.20	Hongos (mohos y levaduras) crecen a pH inferior a 3,5 y alteran las frutas al crecer, mientras que las bacterias alteran a las verduras.	Para preservar los alimentos es necesario incrementar o disminuir la acidez dependiendo del alimento.
Fruta	pH													
Plátano	4.93													
Manzana	3.47													
Papaya	5.78													
Mandarina	3.20													

<p><b>Contenido de Humedad</b></p>	<p>Actividad de agua (<math>A_w</math>) equivalente a la cantidad de agua disponible en un alimento para el crecimiento, proliferación y metabolismo microbiano.</p>	<p>La mayoría de los vegetales y frutas tienen valores de <math>A_w</math> cercanos al nivel óptimo para el crecimiento de microorganismos. <math>A_w =</math> Entre 0.85 y 0.93</p>	<p>Las bacterias y los mohos crecen con una <math>A_w</math> de entre 0.61 a 0.75 dependiendo del producto.</p>	<p>Puede manipularse la <math>A_w</math> adicionando solutos como azúcar o sal, o por remoción física del agua por secado.</p>
<p><b>Contenido de compuestos nutritivos</b></p>	<p>Fuente de energía, de nitrógeno, vitaminas, otros factores de crecimiento y minerales.</p>	<p>Los vegetales tienen alta concentración de carbohidratos y niveles variables de proteínas, minerales y vitaminas que favorecen el crecimiento de hongos.</p>	<p>Las bacterias y los mohos sintetizan la mayor parte de los requerimientos, por eso predominan en los alimentos.</p>	<p>La limitación o disponibilidad de nutrientes esenciales es suficiente para favorecer o no el crecimiento de microorganismos.</p>

<p><b>Componentes antimicrobianos</b></p>	<p>Sustancias inherentes o propias de los alimentos que actúa como defensa natural frente a los microorganismos.</p>	<p>Los vegetales contienen aceites esenciales, taninos glicósidos y resinas en los vegetales.</p>	<p>Los microorganismos pueden desarrollarse dependiendo de las propiedades de los aceites esenciales propios del alimento.</p>	<p>La adición de aceites esenciales puede retrasar el crecimiento de microorganismos.</p>
<p><b>Estructuras biológicas</b></p>	<p>La cubierta externa de los frutos, la cáscara protege contra la entrada de microorganismos.</p>	<p>Las frutas y verduras con las cubiertas lesionadas se alteran más rápido que las indemnes.</p>	<p>Los microorganismos aprovechan la presencia de soluciones de continuidad entre el exterior y el interior del alimento para entrar y utilizar los nutrientes presentes.</p>	<p>Se puede prevenir el mantenimiento de las estructuras biológicas, cuidando su maduración, daño mecánico durante la cosecha, transporte y almacenaje o por invasión de insectos.</p>

### 2.4.3 Operaciones unitarias en la conservación de productos hortofrutícolas

El procesado de productos hortofrutícolas frescos es una tendencia de consumo que se encuentra en crecimiento. Los productos frescos se procesan con el objetivo de proveer al consumidor un alimento listo para ser consumido. Los consumidores requieren productos libres de defectos, que tengan un grado de madurez óptimo y una excelente calidad organoléptica y nutricional, inocuos y libres de compuestos tóxicos (Watada & Qi, 1999). Antes del procesamiento, es necesario hacer una selección de vegetales, que tengan la mejor calidad para el proceso al que van a ser sometidos. Los productos hortofrutícolas deben seleccionarse desde dos perspectivas, las variedades de cada especie y el estado de madurez. La selección correcta de especies es importante debido a que no todas tienen el mismo comportamiento frente al procesado (Gorny et al., 2000).

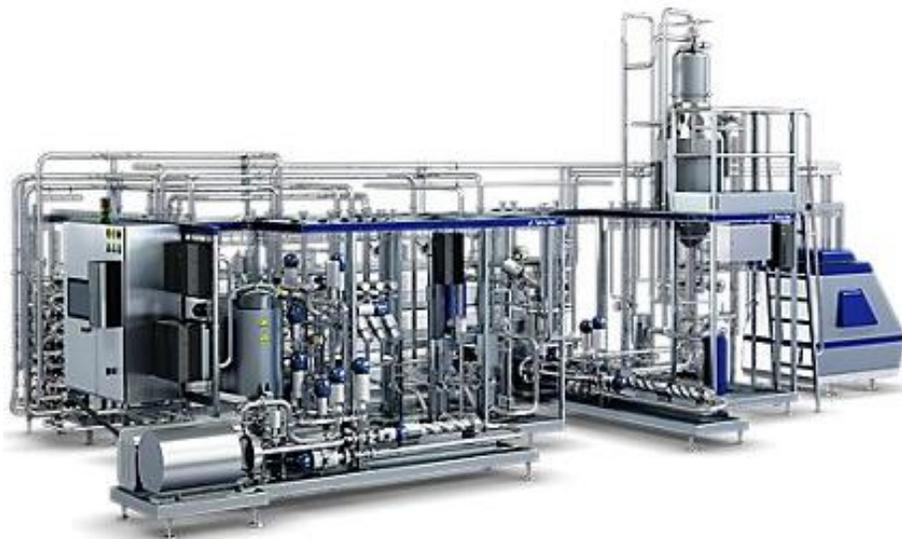
La elección del estado de madurez de los productos hortofrutícolas es fundamental, especialmente en aquellos que son climatéricos. Estos deben tener determinado grado de madurez para que los sabores y aromas propios de cada especie se hayan desarrollado y así evitar sabores indeseados (Morais & Argañosa, 2010). Los productos vegetales frescos cortados sufren cambios más acelerados de senescencia debido a la ruptura del tejido por el corte, que aumenta la velocidad de respiración y transpiración que conducen a un rápido deterioro del producto, causando pérdidas en sus características sensoriales y nutricionales, aumentando así la actividad microbiana (Orsat et al., 2001).

La calidad de los productos vegetales frescos cortados depende de la calidad del producto entero que se procesa. Puede variar desde su recolección, ya sea de manera mecánica o manual, debe procesarse en condiciones de higiene óptimas, minimizando los daños mecánicos cuidando que el producto no salga defectuoso. Además, el transporte a la industria debe realizarse en el menor tiempo posible (Gonzales et al., 2007). Dentro de un proceso productivo existen factores como técnicas de producción (precosecha), manejo y conservación y mercadeo. Para lograr buena calidad y costos mínimos, es necesario combinar muy bien las técnicas de producción y conservación (Parra Coronado, 1989). A continuación, se mencionan algunas técnicas utilizadas para la conservación de productos hortofrutícolas.

### 2.4.3.1 Pasteurización

La pasteurización se define como el “tratamiento térmico al que se someten los productos, consiste en una relación adecuada entre la temperatura y el tiempo, que garantice la destrucción de organismos patógenos y la inactivación de enzimas de algunos alimentos” (Morales, 2003). Los tratamientos térmicos son los métodos más utilizados para estabilizar productos por que tienen la capacidad de destruir microorganismos e inactivar enzimas. Entre estos tratamientos el más comúnmente utilizado es la pasteurización; considerado un procedimiento relativamente suave, que contribuye con el aumento de la vida útil del alimento sobre el que se aplica (Cruz et al., 2008).

La pasteurización es de gran interés en la tecnología de alimentos, debido a su influencia sobre la calidad de frutas y vegetales crudos y procesados (Latorre V et al., 2013). La pasteurización corresponde a un tratamiento térmico suficiente para inactivar los microorganismos causantes de enfermedades, presentes en los alimentos. La pasteurización, inactiva la mayor parte de las formas vegetativas de los microorganismos, pero no sus formas esporuladas, por lo que constituye un proceso adecuado para la conservación por corto tiempo. Además, ayuda en la inactivación de las enzimas que pueden causar el deterioro de los alimentos (FAO, 1993).



**Figura 3.** Unidad de pasteurización eficaz para un tratamiento del calor rentable de productos alimenticios preparados (Tetrapak,2022).

Así, este método permite controlar los microorganismos de los alimentos líquidos, alterando lo menos posible su estructura física, sus componentes químicos y sus propiedades organolépticas. Se pueden pasteurizar cremas, helados, cervezas, vinos, quesos, mieles, zumos de frutas y verduras o productos lácteos en general. (Inter empresas, 2023).

#### 2.4.3.2 Esterilización

La esterilización es un tratamiento severo, en el cual el producto se expone a altas temperaturas por periodos de tiempo determinados, generalmente cortos, por ejemplo, 121°C durante 3 minutos. Con este tratamiento se eliminan esporas de *Clostridium botulinum*, que es una bacteria altamente termorresistente, de esta manera se garantiza destruir todas las demás bacterias que tienen una resistencia menor al calor (Alvarado et al., 2009). Los equipos de esterilización se conocen comercialmente como autoclaves o esterilizadores. La temperatura puede afectar el valor nutricional (se pueden perder algunas vitaminas) y organoléptico de algunos productos. Al realizar un tratamiento de esterilización hay que tener en cuenta algunos factores como el pH de los alimentos y la termo resistencia de los microorganismos o enzimas (López, 2005).



**Figura 4.** Esterilizador UHT tipo placa, utilizado en líneas de producción de jugo (Foodmachinery, 2022).

#### 2.4.3.3 Refrigeración

Para mantener la fruta y verdura en buenas condiciones es importante someterlas a un proceso de conservación para que no afecte la salud de los consumidores. El frío industrial es el procedimiento más seguro ya que retrasa la maduración y senescencia, prolongando así la vida útil de los alimentos percederos (Exclusivas frigoríficas, 2019). Los sistemas de refrigeración corresponden a arreglos mecánicos que utilizan propiedades termodinámicas de la materia para trasladar energía térmica, disminuyendo la temperatura del producto almacenado en cámaras frigoríficas las cuales pueden contener una gran variedad de alimentos (Virgil, 2017).

El control de la temperatura es una de las herramientas principales para reducir el deterioro postcosecha, una cámara refrigerada es una construcción relativamente hermética, aislada térmicamente del exterior y con un equipo de refrigeración capaz de extraer el calor generado por un producto para dispersarlo en el exterior. Debido al ritmo metabólico de las frutas y hortalizas, el equipo debe tener una gran capacidad refrigerante para eliminar el calor respiratorio, controlando la temperatura y humedad relativa en el

interior de la cámara (FAO, 2003). Se mantiene el alimento a bajas temperaturas entre 2 y 8° C, sin alcanzar la congelación. A esta temperatura el desarrollo de microorganismos disminuye o no se produce, pero los gérmenes están vivos y empiezan a multiplicarse desde que se calienta el alimento (Asrrefrigeracion, 2022).

#### 2.4.3.4 Congelación

La preservación por congelación de alimentos ocurre por diversos mecanismos, la reducción de la temperatura por debajo de los 0°C favorece la reducción significativa de crecimiento de microorganismos. Además, ocasiona la reducción de la actividad enzimática y de reacciones oxidativas, debido a la formación de cristales de hielo que modifican la disponibilidad del agua y evitan las reacciones que deterioran los alimentos (Vázquez & Aguilar., 2007). La congelación es una de las técnicas más utilizadas, el fundamento de ésta se basa en la solidificación del agua durante el proceso, generando una alta concentración de sólidos solubles lo que provoca una baja en la cantidad de agua libre, consiste en la disminución de la temperatura entre -18°C a -30°C, lo cual permite que las reacciones bioquímicas sean más lentas (Madrid & Cols, 1997).



**Figura 5.** Congelación de alimentos (Asrrefrigeracion, 2022)

#### 2.4.3.5 Deshidratación

Los vegetales pueden ser conservados por disminución del contenido de agua a través de procesos como la deshidratación o desecación. El término deshidratación se reserva para cuando el proceso de evaporación de agua es forzado y asistido, mientras que la desecación implica un proceso de evaporación de agua libre por vías naturales. Desde el punto de vista industrial no hay diferencias técnicas al respecto (Gascón et al., 2013).

Los alimentos deshidratados y/o desecados son aquellos alimentos frescos a los que se les ha extraído el agua mediante métodos artificiales o naturales con el fin de disminuir el riesgo de contaminación y aumentar su vida útil. El desecado es la reducción de la cantidad de agua mediante el tratamiento del alimento en condiciones ambientales (sol, viento, etc.) es decir de manera natural o artesanal. Los alimentos que pueden desecarse son las frutas, las hortalizas, las legumbres, los hongos, la carne y el pescado (Info Alimentos, 2022).



**Figura 6.** Acondicionamiento de producto en fresco mínimamente procesado (Poscosecha, 2020).

## 2.5 Nuevas tendencias de conservación de productos hortofrutícolas

Actualmente las innovaciones han permitido disponer de tecnologías postcosecha para retardar la senescencia de los productos hortofrutícolas o bien para aumentar su vida útil. Los métodos de conservación en frío con el uso de atmósferas modificadas o la utilización de recubrimientos que tienen una importancia retrasando la senescencia, mejorando los procesos de conservación (De La Vega et al., 2017). La preservación de alimentos

regularmente lleva a la utilización de químicos, plaguicidas y preservantes para mantener sus características por más tiempo, y estos han causado un efecto negativo para la salud (Latham, 2002).

Uno de los objetivos importantes en el estudio de la conservación de alimentos es cuidar sus características organolépticas y nutritivas, que se relacionan con la calidad del alimento y su posibilidad de venta y consumo, es por ello que los métodos que se desarrollen en la conservación de alimentos durante su almacenamiento, no solo deben ser capaces de prolongar el tiempo de vida del alimento, sino también conservar sus características sensoriales (Magaña et al., 2006). Algunos autores consideran que el desarrollo de nanorecubrimientos con ingredientes de uso alimentario, tienen amplias posibilidades tecnológicas, siendo utilizadas para la protección y conservación de frutas frescas a nivel industrial, se utilizan diversos sistemas como atmósferas modificadas, envases activos o pretratamientos químicos como la utilización de recubrimientos (Realini & Marcos, 2014).

### 2.5.1 Envases activos

La función principal del envasado de alimentos es asegurar que la calidad del alimento permanezca intacta y sea seguro para el consumo, el empaque proporciona protección física para mantener los productos alimenticios a salvo de interferencias externas como la temperatura, luz, presencia o ausencia de humedad, oxígeno, presión, enzimas, olores y contaminación microbiana (Ahmed et al., 2017).



**Figura 7.** Envase activo que alarga la vida útil de la fruta pelada y cortada (F&H, 2015).

El área de envasado de alimentos se encuentra en constante desarrollo en respuesta de las demandas de los consumidores, al igual que las nuevas tendencias en la producción de alimentos mínimamente procesados. Recientemente el envasado de alimentos ha cambiado para incluir aspectos tales como inocuidad, conveniencia, mercadotecnia y reducción de materiales, este nuevo concepto de empaques se denomina como envase activo (Fabra et al., 2014). El envase activo es una tecnología emergente que puede diseñarse para incorporar componentes que liberarían o absorberían sustancias en o del alimento envasado o del entorno que lo rodea (Altan, 2020).

El envasado activo de alimentos se define como aquel embalaje en el que los componentes adicionales desempeñan alguna función además de constituir una barrera física entre el alimento y su entorno, además interactúan positivamente con el fin de mejorar la inocuidad y mantener características sensoriales, están diseñados para incorporar componentes que liberen o absorban sustancias hacia o desde los alimentos envasados al entorno que los rodea, y es una de las tecnologías más dinámicas utilizadas para preservar la calidad, seguridad y propiedades sensoriales de los alimentos (Rodríguez Saucedo et al., 2014).

**Tabla 5.** Aplicación de los envases antimicrobianos en productos hortofrutícolas. Adaptado (Martínez Tenorio & López Malo, 2018).

Producto	Agente antimicrobiano	Microorganismo objetivo
<b>Vegetales</b>	Nisina	<i>Salmonella Typhimurium</i>
<b>Fresas</b>	Sorbato de potasio, ácido cítrico	Mesofilos aerónicos, psicótropos, coliformes, mohos y levaduras
<b>Tomate</b>	Ácido cítrico, ácido acético, ácido sórbico, etanol	<i>Salmonella Montevideo</i>
<b>Lechuga</b>	Extracto de semilla de uva	<i>E.coli, S. aureus</i>

Algunos tipos de envases activos permiten la liberación controlada de sustancias activas (antimicrobianos y antioxidantes), evitando la adición directa en el producto. La incorporación de antimicrobianos naturales en el material del envase es una forma de envase activo para extender la vida útil de los alimentos mientras mantienen la calidad nutricional y sensorial (Realini & Marcos, 2014). En la actualidad existe una gran demanda de uso de envases que sean biodegradables, en este sentido la utilización de polímeros derivados de recursos renovables atrae cada vez más atención como un método para la fabricación de envases que sean amigables con el medio ambiente (Shao et al., 2015).

### 2.5.2 **Atmósferas modificadas**

Las atmósferas modificadas conservan productos hortofrutícolas con diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> ayudando a reducir los daños fisiológicos. Estos gases se pueden controlar simultáneamente ayudando a optimizar la conservación de diversos productos (Calero, 2006). Esta innovación ha demostrado resultados positivos teniendo el mismo principio de las atmósferas controladas, ya que modifican la atmósfera que rodea

al fruto mediante una película plástica de diferente permeabilidad en los que se introducen los frutos y tras un cierre hermético se procede su almacenamiento a temperatura controlada. Esta innovación ayuda a controlar la vida comercial sin pérdidas en la calidad (Kader et al., 1989).

La atmósfera modificada alcanza el equilibrio en el interior del film, con niveles altos de CO<sub>2</sub> y bajos de O<sub>2</sub>, dependiendo del metabolismo del fruto y su permeabilidad del film, ayudará a mejorar su vida útil. Actualmente las investigaciones de este campo ayudan a evaluar la técnica sobre la aparición y desarrollo de los daños por frío en frutas y hortalizas de nivel comercial (Romojaro Casado, 2016). En los alimentos, ésta modificación de la concentración de gases disminuye la velocidad de respiración y provoca que la descomposición sea retrasada. Este proceso permite mantener a los productos con posibilidades de ser consumidos, permitiendo exportar alimentos en cantidades industriales (Barreiro-Méndez & Sandoval-Briceño, 2006).

La utilización de la atmósfera modificada debe mantenerse durante todo el período de almacenamiento, no sólo por la modificación del producto sino por la hermeticidad del cuarto donde es almacenado; esta tecnología retarda la maduración y evita daños por frío. El excelente beneficio de las atmósferas controladas se puede utilizar en el almacenamiento o transporte de toneladas de productos hortofrutícolas (De La Vega et al., 2017). Las instalaciones de atmósferas modificadas, requiere de techos, pisos y paredes herméticas recubiertas con materiales que permitan asegurar una condición óptima del producto, también se requiere de un control continuo de los gases y la presión interna, para evitar daños. Además, se requiere de un sistema de refrigeración para mantener la temperatura a condiciones cercanas a 0°C (dependiendo del producto) para mejorar la eficiencia de esta tecnología (Arias Velázquez & Toledo Hevia, 2007).

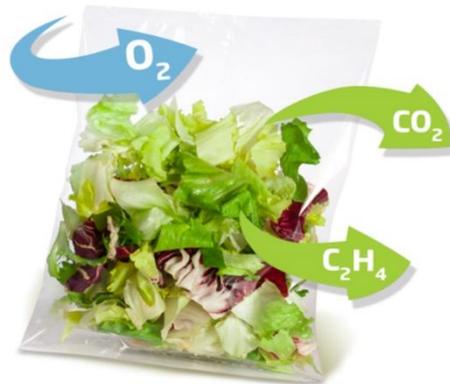
**Tabla 6.** Condiciones de almacenamiento en atmósferas modificadas de algunos productos hortofrutícolas (Barreiro-Méndez & Sandoval-Briceño, 2006).

<b>Alimento</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Oxígeno (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>
<b>Aguacate</b>	5-13	2-5	5-10
<b>Plátano</b>	15	2	6-8
<b>Cereza</b>	0-5	0-5	10-12
<b>Ciruela</b>	0-5	1-2	0-5
<b>Durazno</b>	0-5	1-2	5
<b>Fresa</b>	0-5	10	15-20
<b>Higo</b>	0-5	5	15
<b>Kiwi</b>	0-5	2	5
<b>Lechuga</b>	0,5-1	2-5	<2
<b>Lima</b>	10-15	5	0-10
<b>Limón</b>	10-15	5	0-5
<b>Mango</b>	8-15	5-10	5-6
<b>Manzana</b>	0-5	2-3	1-2
<b>Melón</b>	5-10	3-5	10-15
<b>Naranja</b>	1-10	10-15	0-7
<b>Papaya</b>	10-15	10-15	0-7
<b>Pera</b>	0-5	2-3	0-1
<b>Piña</b>	10-15	5	10
<b>Tomate</b>	12-20	3-5	0
<b>Toronja</b>	10-15	3-10	5-10

Los alimentos sometidos a atmósferas modificadas, en donde se almacenan diversas frutas, se desarrollan con materiales especiales, de un espesor determinado que permita el ingreso de oxígeno y salida de CO<sub>2</sub> y vapor de agua, hasta el punto en donde la concentración de los gases dentro del empaque ralentice la respiración del alimento. Algunas alternativas también retiran el aire del empaque introduciendo gases inertes como el nitrógeno, ayudando a disminuir la concentración del oxígeno y por ende la tasa

de respiración. De modo que disminuye el crecimiento de los microorganismos ante la pérdida de oxígeno (Andrade et al., 2012). Cada producto hortofrutícola tiene un tratamiento diferente de atmósferas modificadas dependiendo del producto (Barreiro-Méndez & Sandoval-Briceño, 2006).

Otra característica que tiene esta tecnología ha servido para el control de plagas durante su almacenamiento. Este beneficio radica en que no hay necesidad de aplicar elementos químicos que puedan dejar residuos tóxicos en el alimento (De La Vega et al., 2017). La tecnología de atmósferas modificadas tiene una aplicación amplia, además de ayudar a extender la vida útil de los alimentos; Sus aplicaciones aún siguen teniendo innovaciones experimentales que están siendo estudiadas para obtener resultados benéficos en el mejoramiento de la actividad antioxidante y polifenoles en distintas frutas, en función de dar un valor agregado aprovechando la excelente eficiencia de esta tecnología.



**Figura 8.** Envase en atmósferas modificadas (La hostelera, 2019).

### 2.5.2.1 Recubrimientos comestibles

Un recubrimiento comestible se puede definir como una matriz transparente continua, comestible y delgada, que se estructura alrededor de un alimento generalmente mediante la inmersión, aspersores o goteo, de una solución formadora del recubrimiento con el fin de preservar su calidad (Vásconez et al., 2009). Por otra parte, una película comestible es una matriz preformada, obtenida por moldeo, cuyo espesor siempre es mayor al de los recubrimientos comestibles (Del-Valle et al., 2005). Estos recubrimientos permiten el

control respiratorio de los productos hortofrutícolas, retrasando el envejecimiento y mejorando su calidad comercial. Un recubrimiento comestible es un material de envoltura delgado que puede ser consumido, debido a que proviene de biopolímeros que son biodegradables y no tóxicos, además de otras ventajas como son (Urrejola et al., 2018).

- Tecnología simple para su elaboración.
- Protectores de acción física, química y biológica.
- Presentan propiedades sensoriales (transparencia).
- Preservan la textura de los productos alimenticios.
- Prolongan la vida útil de los alimentos.
- Ayudan al control de microorganismos.

Los recubrimientos al controlar la transferencia de humedad y gases, han demostrado la capacidad de mejorar la calidad de los alimentos, sin embargo, al recubrir los productos hortofrutícolas para retardar la pérdida de humedad, es necesario que exista cierta permeabilidad al O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> para evitar una respiración anaeróbica que podría provocar desórdenes fisiológicos y una pérdida de vida útil (Daybelis et al., 2015). También los recubrimientos comestibles pueden transportar ingredientes funcionales como antioxidantes, antimicrobianos, nutrimentos, sabores y colorantes para destacar la calidad, funcionalidad y seguridad de los alimentos, siendo éstas características las más importantes del uso de recubrimientos (Falguera et al., 2011).

Varios estudios reconocen la importancia de los recubrimientos comestibles, investigando varios parámetros como las propiedades mecánicas, fisicoquímicas, ópticas (brillo y opacidad) y antimicrobianas con el fin de mejorar el envasado activo, ya que ayudan en el control de las atmósferas modificadas restringiendo la transferencia de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> convirtiéndolo en una barrera semipermeable al vapor de agua y algunos gases.

Todas las características antes mencionadas son influenciadas por parámetros como el tipo de material utilizado como matriz de la estructura, las condiciones bajo las cuales se forman los recubrimientos (tipo de solvente, pH, concentración de componentes,

temperatura) y el tipo de aditivos (biopolímeros, agentes activos, antimicrobianos, antioxidantes y emulsificantes) (Rojas-Graü et al., 2009).

**Tabla 7.** Algunos aditivos utilizados como agentes de recubrimiento en productos hortofrutícolas (Diario Oficial de la Unión Europea, 2012).

Código	Aditivo
<b>E901</b>	Cera de abejas
<b>E902</b>	Cera de candelilla
<b>E903</b>	Cera de carnauba
<b>E904</b>	Goma laca
<b>E905</b>	Aceites minerales
<b>E906</b>	Goma benjuí
<b>E907</b>	Cera microcristalina refinada
<b>E908</b>	Cera de germen de arroz
<b>E912</b>	Esteres de ácido montáico
<b>E913</b>	Lanolina

### 2.5.3 Nanotecnología

El concepto nano se ha convertido en un campo multidisciplinario de la ciencia y tecnología. La nanotecnología es la capacidad para trabajar en una escala de 1 a 500 nm con el fin de comprender, crear, caracterizar dispositivos y sistemas con nuevas propiedades con distintas nanoestructuras (Luo & Stutzenberger, 2008).

Los materiales nanométricos han sido investigados por su actividad antimicrobiana de modo que puedan ser utilizados como inhibidores de crecimiento (Huang et al., 2005).

Existen varias investigaciones que se han centrado en la fabricación de estructuras a escalas nanométricas ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ), que han proporcionado productos con propiedades fisicoquímicas. La Comisión Europea, lo define como “un material natural secundario o fabricado que contenga partículas sueltas formando un agregado o aglomerado en el que el 50% o más de las partículas en la granulometría numérica presente una o más dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre 1 nm y 10 nm. En

concreto, en la industria alimentaria la nanotecnología tiene su aplicación en áreas como la calidad y la seguridad alimentaria, el desarrollo de nuevos alimentos y el envasado (Luo & Stutzenberger, 2008).

La aplicación de nanotecnología en polímeros puede abrir nuevas posibilidades para mejorar no solo las propiedades, sino también el precio de costo-eficacia (Sorrentino et al., 2007). Estas tecnologías tratan de entender los procesos químicos y físicos que ocurren a escala molecular de los productos hortofrutícolas para mejorar sus métodos de conservación modificando su estructura matriz, y asegurar la inocuidad de las mismas evitando sustancias químicas. Así, se lograría una conservación mucho más natural (Ríos et al., 2018).

Los nanomateriales ofrecen diversas oportunidades nuevas para la industria alimentaria. En la actualidad existen diferentes tipos de nanoestructuras funcionales que se pueden utilizar con diferentes estructuras introduciendo nuevas funcionalidades en los alimentos. Estos incluyen nanopartículas, nano emulsiones y nanofibras (Ávalos Fúnez et al., 2016). Algunas de estas tecnologías incluyen sustancias orgánicas y otras inorgánicas, lo que ha generado controversia en la creación de nuevos nanomateriales. Algunos de los nanomateriales han sido aplicados como aditivos, otros en el envasado y almacenamiento de alimentos (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), 2015).



**Figura 9.** Nanotecnología en alimentos. Adaptado (Santaya, 2018).

### 2.5.3.1 Nanoencapsulación

La nanoencapsulación se define como el revestimiento de un activo mediante un agente encapsulante (polímero) adquiriendo propiedades y características diferentes de su escala mayor para su liberación posterior, bajo condiciones controladas y determinadas, que promueven aumento en la vida útil del producto y facilita su manipulación al convertir un material líquido a formas sólidas. Las micropartículas esféricas tienen tamaños desde 1 a 250 nm. Las nanopartículas son sistemas poliméricos submicrónicos (<1  $\mu\text{m}$ ). Esta tecnología tiene diferentes alcances en la investigación. (Valdiviezo-Morales et al., 2017).

#### 2.5.3.1.1 Nanopartículas poliméricas

Las nanopartículas se definen como dispersiones de partículas o partículas sólidas con un tamaño en el rango de 1 a 1000 nm. Existen distintos métodos de preparación de

nanopartículas como el método de emulsión, método de gelificación iónica, método micelar inverso y método de autoensamblaje (Zhao et al., 2011).

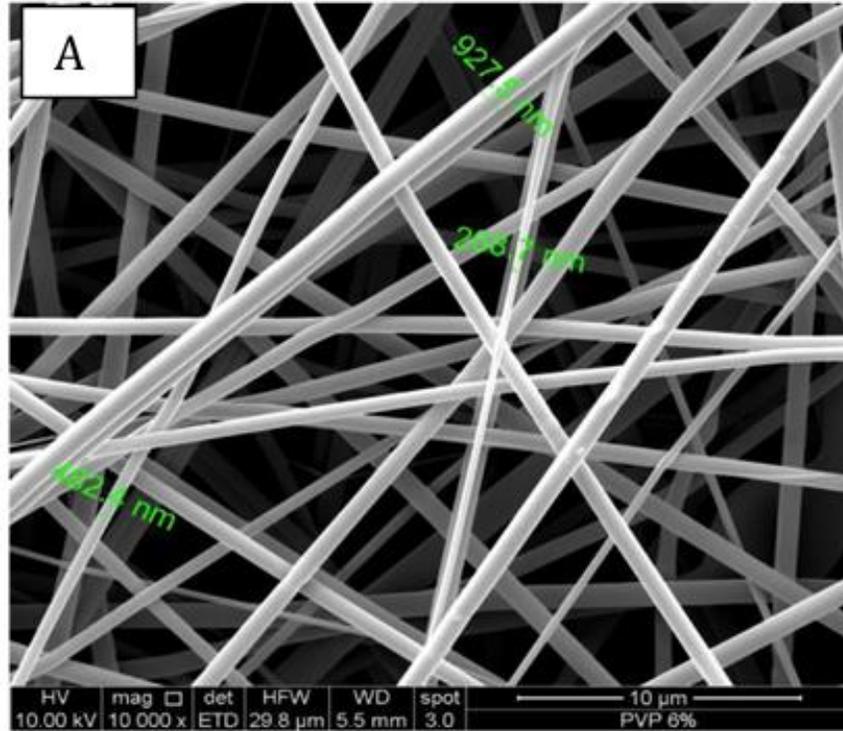
Según el método de preparación, existen dos tipos de nanopartículas poliméricas, nanoesferas y nanocápsulas. Las nanoesferas son sistemas matriciales esféricos, que tienen el agente activo disperso en una matriz polimérica de manera homogénea, mientras que las nanocápsulas son sistemas vesiculares que encapsulan el agente dentro de una cavidad rodeada por una cubierta polimérica, que controla su liberación dependiendo de su naturaleza (Urrejola et al., 2018).

#### 2.5.3.1.2 Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS)

Las nanopartículas lipídicas sólidas (NSL) fueron desarrolladas como un sistema de transporte alternativo a las emulsiones y nanopartículas poliméricas. Se producen reemplazando el lípido líquido (aceite) de una emulsión por un lípido sólido a temperatura ambiente. El tamaño promedio de una nanopartícula lipídica sólida puede oscilar entre 40-1000nm. El núcleo se estabiliza con tensoactivos que se adhieren a la superficie del lípido, creando una barrera física (Garzón S. et al., 2008). En la literatura se reportan varios métodos para la producción de nanopartículas lipídicas sólidas, en general el proceso consta de cuatro etapas: preparación de la fase oleosa mediante fusión o disolución de los lípidos, preparación de la fase acuosa, formación de la pre – emulsión y concentración y purificación de la dispersión acuosa (Pardeike et al., 2009).

#### 2.5.3.1.3 Nanofibras

El electrohilado (hilado electrostático de fibras) es un método moderno y eficiente que utiliza el campo eléctrico para la producción de fibras finas que nos permite la fabricación de estructuras porosas y versátiles. Esta técnica combina la biología y la tecnología de impresión para la creación de nanofibras que proporcionan un soporte semejante a la proteína fibrosa de la matriz extracelular. Para la creación de nanofibras se utilizan solventes orgánicos y ácidos que por su interacción molecular permiten la formación de una estructura nanofibrosa definida (Aoki et al., 2015).



**Figura 10.** Imágenes microscopio electrónico de barrido de nanofibras (Quintana, 2016).

## CAPÍTULO III. APLICACIÓN DE NANOFIBRAS EN ALIMENTOS

### 3.1 Definición

El electrohilado es definido como un proceso mediante el cual un polímero en solución o fundido puede ser hilado en fibras de tamaño nanométrico utilizando una diferencia de alto voltaje. Esta descripción cubre una amplia gama de fibras con diámetros de tamaño del orden submicrómetros que son normalmente producidos por electrohilado. Los tamaños de fibras tienen un orden entre 100 nm y 1 micras, siendo los tamaños más comunes, aunque se han registrado fibras de tamaño más pequeño como 30 nm y tan grande como 10 micras (Bhardwaj & Kundu, 2010).

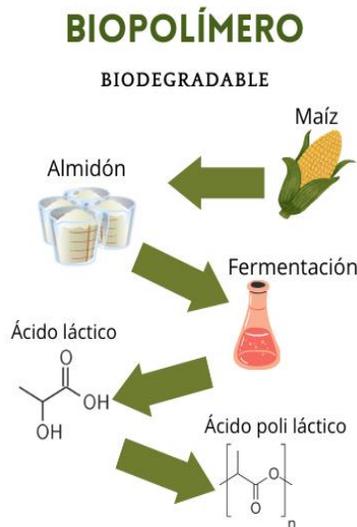
Las nanofibras son un desarrollo tecnológico dentro de la nanotecnología que es conocido por el proceso de electrohilado, utilizado ampliamente para producir nanofibras con una gran superficie específica y porosidad para aplicaciones como la administración de compuestos activos, que se conocen como fibras poliméricas con diámetros en el rango de micrómetros y nanómetros (Zhong et al., 2018). Esta técnica es muy simple, versátil y se puede adaptar a nivel laboratorio e industrial, debido a que el equipo es de fácil construcción mediante una configuración básica. Las características de las nanofibras destacan por su alta área superficial, tamaño de poro pequeño y la posibilidad de producir estructuras tridimensionales, todo esto debido a su diminuto tamaño y además pueden tener distintas aplicaciones (Colín-Orozco et al., 2013).

### 3.2 Polímeros utilizados en la fabricación de nanofibras

Los polímeros se caracterizan por ser biodegradables y/o descomponerse más rápido que los materiales sintéticos, lo que los hace amigables con el ambiente, además tienen la capacidad de reducir la oxidación, protegen el color y aroma, retardando además la pérdida de calidad en el alimento. Los polímeros más utilizados en las formulaciones de nanofibras son hidrocoloides, lípidos y polímeros compuestos o multicomponentes (Raghav et al., 2016).

Los biopolímeros se han vuelto una alternativa a los subproductos de combustibles fósiles debido a que no son tóxicos, además de tener propiedades sostenibles, biodegradables y biocompatibles. Los polisacáridos son uno de los tipos más abundantes de biopolímeros que se crean en el organismo de plantas, animales y microorganismos (Griselda et al., 2020).

Los biopolímeros también son conocidos como hidrocoloides, son polímeros hidrofílicos, contienen un grupo hidroxilo y pueden ser polielectrolitos que se disuelven en agua, de origen animal o vegetal, y que incluyen diversos polisacáridos (derivados de celulosa, quitosano, gomas, almidón, pectinas) o polipéptidos (proteínas de zeína y soya, colágeno, gelatina) (De La Fuente-Salcido et al., 2017). Actualmente, se han creado empaques elaborados a base de biopolímeros permitiendo aplicaciones específicas con características especiales relacionadas con las propiedades de barrera, mecánicas y térmicas en determinados empaques como películas, protectores, espumas, envolturas, platos, tasas cucharas, bolsas, etc. (Villada et al., 2007).



**Figura 11.** Bioplásticos basados en fuentes renovables. Adaptado (Mexpolimeros, 2022).

Distintos hidrocoloides pueden aplicarse como nanofibras recubriendo frutas y verduras, manteniendo el color, el sabor, la textura, turgencia y la vida útil del producto. Existen un

sinfin de polímeros utilizados para la elaboración de nanofibras, además de mezclas de los mismos, cada uno de ellos tienen diferentes propiedades que aún están siendo estudiadas en diferentes productos alimenticios entre ellos los hortofrutícolas (Raghav et al., 2016). A continuación se mencionan algunos biopolímeros utilizados comúnmente en la formación de nanofibras.

### 3.2.1 Quitosán

El quitosán, uno de los biopolímeros más utilizados en las nanofibras, es obtenido por desacetilación de la quitina con capacidad antibacteriana y antifúngica, característica indispensable para la funcionalidad de nanofibras con la desventaja de proporcionar una pobre barrera a la humedad (Romero-Serrano et al., 2020). Es uno de los polisacáridos más abundantes que se encuentran en el mundo. Debido a que el quitosán tiene múltiples bioactividades como su biodegradabilidad y biocompatibilidad, además ha presentado una atención especial como vehículo de liberación controlada (Duan et al., 2012). Los sistemas basados en quitosano tienen amplias aplicaciones en la industria alimentaria y bioquímica, ya que permiten encapsular ingredientes con propiedades hidrofóbicas, hidrofílicas e incluso antibacterianas (Zhao et al., 2011).

### 3.2.2 Zeína

La zeína es uno de los componentes proteicos del maíz, el cual se ha estudiado para emplearlo de diferentes maneras. Es un material único y complejo, además se extrae en una forma relativamente pura (Lawton, 2002). En su forma pura la zeína es un polvo de color blanco, sin olor ni sabor, sin embargo, las presentaciones comerciales presentan un color amarillo y un sabor suave (Kasaai, 2018). La alta proporción de aminoácidos no polares y la falta de grupos iónicos son los responsables de su naturaleza hidrofóbica y de sus características únicas de solubilidad. Su naturaleza hidrofóbica se debe a la presencia de grandes cantidades de aminoácidos hidrofóbicos tales como la leucina, la prolina, la alanina y la fenilalanina, razón por la cual es soluble en etanol y en los solventes orgánicos polares como el propilenglicol y ácido acético (Reddy & Yang, 2011).

### 3.2.3 Pectinas

Las pectinas derivadas de las frutas son polisacáridos muy ramificados, heterogéneos, ácidos neutros, conformados por el ácido D-galacturónico unidos por un enlace  $\alpha$  (1-4). Las mejores nanofibras de pectina se elaboran con pectina metoxil- esterificada que le proporciona flexibilidad y estabilidad a la temperatura (Vartiainen et al., 2014). La pectina es una mezcla compleja de polisacáridos que constituye aproximadamente un tercio de las paredes celulares de las plantas superiores. En los últimos años ha adquirido un gran interés pues sus aplicaciones pueden ser muy diversas en base a sus parámetros fisicoquímicos y a su biodegradabilidad. Se extrae de cáscaras de cítricos y de pulpa de manzana en condiciones ligeramente ácidas (May, 1990). Las pectinas funcionan como un factor de adhesión en los alimentos y al añadirseles, actúa como estabilizante, emulsificantes y espesantes (Liu et al., 2007).

### 3.2.4 Carragenina

Gomas como la carragenina, son polisacáridos lineales sulfatados aniónicos extraídas de algas rojas, que pueden ser multifuncionales pues actúan como vehículo, emulsionante o gelificante. Las gomas se combinan con otros polisacáridos y agentes bioactivos en la formulación de cubiertas compuestas. Con respecto a los lípidos incorporados en las nanofibras se distinguen los ésteres de glicerol, ácidos grasos o ceras cuya naturaleza hidrofóbica les permite conservar la humedad y limitar pérdida de agua, incrementar el brillo y reducir la proliferación microbiana en frutas (Armas et al., 2019). La carragenina es un aditivo común utilizado en gran variedad de alimentos y bebidas. Su función, como es establecida en el *CODEX Alimentarius*, es un agente gelificante, emulsionante, estabilizador, humectante e incrementador de volumen. Este aditivo, conocido como SIN 407, se utiliza en una variedad de productos (FAO, 2023)

### 3.2.5 Grenetina

La grenetina se define como la proteína que proviene de la desnaturalización y del desdoblamiento de la triple hélice del colágeno. Para su elaboración industrial, se utiliza

la piel y los huesos de los animales, mismos que se calientan a pH ácidos de 2 a 3, alcalinos de 10 a 12 para deshacer su estructura; el líquido restante se filtra, desmineraliza, concentra, esteriliza y seca (Badui Dergal, 2006). Las propiedades funcionales de la grenetina pueden ser divididas en dos grupos. La primera son propiedades relacionadas con la gelificación, tiempo de gelificación, temperaturas de fusión y viscosidad. La segunda está relacionada con los efectos superficiales de la grenetina, estas propiedades son la estabilización de espumas y emulsiones, propiedades de encapsulación, las propiedades adhesivas y de disolución (Gareis, 2007).

### 3.2.6 Pululano

Un ejemplo de los polisacáridos microbianos es el pululano, las propiedades distintivas de este polímero han recibido gran atención por parte de la industria de alimentos, ya que es comestible, inodoro, insípido, neutro y soluble en agua. Por lo que se ha estudiado recientemente en la aplicación de nanofibras (Celebioglu & Uyar, 2013). Es un polisacárido de origen microbiano (*Aureobasidium pullulans*) que es comestible y biodegradable. Las películas formadas en solución acuosa son claras, incoloras, insaboras, buenas barreras al oxígeno, resistentes al aceite y sellables por calor (Kawahara et al., 2003). Las coberturas de pululano se han usado exitosamente para prolongar la vida de anaquel de los alimentos (Alemán et al., 2020).

El pululano es esencialmente un glucano lineal que consiste principalmente de unidades de maltotriosa ( 3 moléculas de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -1,4) unidas por enlaces  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 6. Su patrón único de enlaces, confiere al polímero distintivos rasgos físicos que incluyen propiedades adhesivas, la capacidad para formar fibras, el moldeo por compresión y la fuerza oxígeno – impermeable de sus películas (Garcia, 2011).

### 3.2.7 Etil celulosa

La etilcelulosa (EC) es un polímero insoluble en agua generalmente considerado como no tóxico y no alergénico, tiene buenas propiedades de formación de película y buena estabilidad, es un polímero celulósico más comúnmente usado para formulaciones de

liberación controlada (Yang et al., 2016). Se caracteriza por tener una estructura macromolecular en forma de cadenas no ramificadas, que se obtiene a partir de la modificación estructural de la celulosa. Este biopolímero es un polisacárido que forma parte del sistema estructural multicelular de los vegetales. La celulosa se sintetiza mediante una reacción de polimerización de la  $\alpha$ -D-glucopiranososa (D-glucosa), que se cataliza mediante complejos enzimáticos (celulosas sintasas). Estos complejos se ensamblan formando microfibrillas de celulosa (Miranda-Valdez et al., 2019).

### 3.2.8 Poly- $\epsilon$ -caprolactona

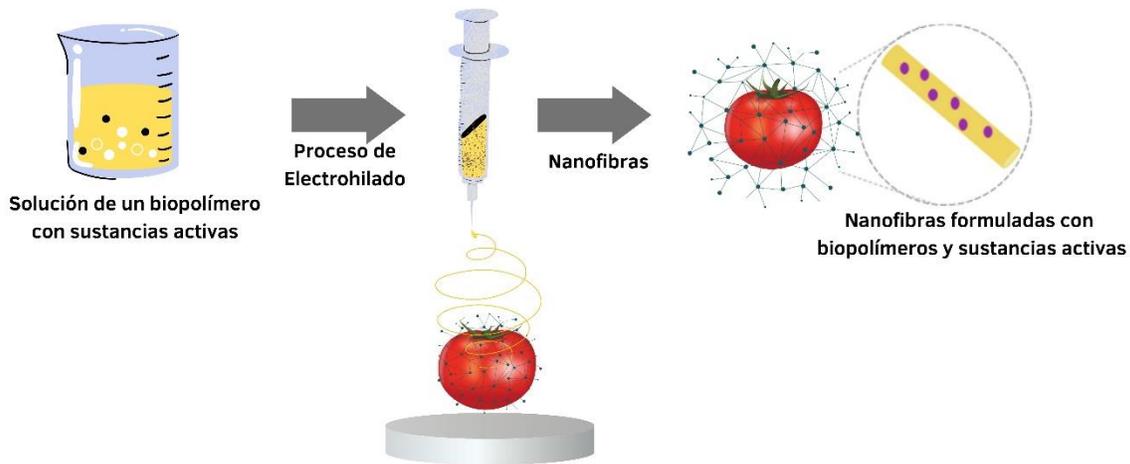
La Poly- $\epsilon$ -caprolactona es un polímero sintético biodegradable, es un poliéster alifático que se compone de monómeros de hexanoato. Se obtiene mediante polimerización por apertura de anillo de la  $\epsilon$ -caprolactona, en el proceso se emplea octoato de estaño y alcoholes para controlar el peso molecular del polímero. Tiene un alto grado de permeabilidad a muchas sustancias y es de gran interés en el área de agricultura, recientemente se ha empleado para aplicaciones como películas agrícolas, contenedores de plantas y sistemas de liberación controlada de pesticidas, herbicidas y fertilizantes (Woodruff & Hutmacher, 2010).

En comparación con otros polímeros biodegradables la poly- $\epsilon$ -caprolactona posee propiedades atípicas, las cuales son miscibilidad y compatibilidad mecánica con otros polímeros lo que hace que incremente su aplicabilidad. Además presenta degradación lenta por lo que es útil al mezclarse con materiales que requieren una aplicación a largo plazo, adicionalmente, se ha comprobado que su toxicidad es baja (Labet & Thielemans, 2009).

### 3.3 Sustancias activas

Los consumidores exigen que los alimentos frescos y mínimamente procesados estén exentos de sustancias de síntesis química, y buscan aquellos enriquecidos con sustancias de origen natural que tengan beneficios para la salud y que mantengan las características nutritivas y sensoriales de los productos adquiridos. Por lo cual se ha buscado nuevas

sustancias de origen natural que permitan actuar como antioxidantes y antimicrobianos (Ponce et al., 2008).



**Figura 12.** Representación esquemática del electrohilado formulado con polímeros y sustancias activas. Adaptado (Jain et al., 2020).

### 3.3.1 Antioxidantes

Un antioxidante es una sustancia que forma parte de los alimentos de consumo cotidiano. Las propiedades antioxidantes se han estudiado por sus interacciones químico – biológicas y por su función en el deterioro oxidativo que afecta a los alimentos (Pastene, 2009). Actualmente se ha dado importancia a antioxidantes extraídos de fuentes naturales como frutas, hierbas y especias, entre otras (romero, cereza, salvia, laurel, albahaca, guayaba, entre otros), por su potencial efecto antioxidante, además de su composición rica en compuestos químicos como ácidos fenólicos, tocoferoles, antocianinas, flavonoides, vitamina C y vitamina E, que inhiben la oxidación lipídica de productos alimenticios (Hussain et al., 2008).

Los antioxidantes pueden eliminar el oxígeno atrapado o disuelto en el producto, o el presente espacio que queda sin llenar los envases, además elimina las trazas de ciertos metales como el hierro o el cobre, que facilitan la oxidación, frenando la reacción de oxidación, el resultado de la utilización de antioxidantes retrasan la alteración oxidativa

del alimento, pero no la elimina de forma definitiva (Bautista, 2014). En sentido del retardo de proceso de oxidación, los antioxidantes también retrasa el proceso de maduración, combatiendo la senescencia de los frutos que tienen un impacto en el deterioro de la piel (Silva Gomes et al., 2017).

### 3.3.2 Aceites esenciales

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, generalmente destilables por arrastre con vapor de agua, que contienen sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria de alimentos (condimentos y saborizantes), generalmente están compuestos por mezclas complejas de hasta cien componentes (Martínez, 2017). Los aceites esenciales son extraídos de diferentes plantas y se pueden encontrar en diversas partes de la misma, como en las flores, hojas, raíces, rizomas, frutas, semillas, madera, resinas, superficie de las hojas, variando significativamente en sus propiedades químicas, por ejemplo, en la densidad, olor e índice de refracción (Mariod, 2016).

Los aceites esenciales se han utilizado por su potencial actividad plaguicida contra una amplia variedad de plagas agrícolas. Sin embargo, su aplicación como agente antimicrobiano y antioxidante es una tendencia creciente que refleja un interés hacia el “consumismo verde” y hacia la prolongación de la vida útil de los alimentos, los componentes fenólicos son responsables de las propiedades antibacterianas de los aceites esenciales (Cevallos & Londoño, 2018). La actividad de los aceites esenciales está relacionada con la composición de los compuestos volátiles de los aceites de las plantas por sus grupos funcionales, y una posible interacción sinérgica entre sus componentes. Los componentes con estructura fenólica como el carvacrol (componente mayoritario del orégano), el eugenol (del clavo) y el timol (del tomillo), fueron efectivos frente a los microorganismos (Moghaddam et al., 2015).

Ejemplo de los compuestos fenólicos es el carvacrol que es uno de los aceites esenciales extraído del orégano y tomillo, se han demostrado estudios de las propiedades antibacterianas y antifúngicas, e inhibe el crecimiento de diversas cepas de bacterias por

ejemplo *Escherichia coli* y *Bacillus cereus* y se utiliza de aditivo alimentario para prevenir la contaminación bacteriana (Altan, 2020). Los aceites esenciales juegan un papel importante como agentes protectores de las plantas frente a bacterias, virus, hongos, insectos o incluso herbívoros, además de atraer a insectos a favor de la dispersión de polen o las semillas, o de repeler a los que tengan efectos indeseables. En general los aceites esenciales son más activos frente a bacterias Gram positivas, posiblemente debido a que las bacterias Gram negativas poseen una membrana externa, sin embargo, el carvacrol, eugenol y el timol son capaces de desintegrar la membrana externa de las bacterias, como *Escherichia coli* y *Salmonella typhimurium* (Usano et al., 2014).

Los aceites esenciales se encuentran en el grupo de aditivos alimentarios, ya que son sustancias aromáticas de origen natural de gran importancia que mantienen por más tiempo la calidad nutritiva o el valor sensorial de los alimentos, además podrían contribuir a mejorar el olor o sabor de un alimento (Asensio, 2013).

### 3.4 Método de electrohilado

El electrohilado es un método de fabricación para producir nanofibras por fuerza eléctrica. Es una tecnología eficaz para la producción de fibras ultrafinas continuas impulsadas por fuerzas electrostáticas para producir un solo chorro continuo con diámetros de 10 nanómetros a unos pocos micrómetros que pueden alcanzar longitudes de metros a kilómetros (Sundaray et al., 2004). Es una técnica muy flexible que puede producir fibras electro-hiladas con alta porosidad y relación superficie/volumen. Las fibras son afectadas por la concentración del polímero, el peso molecular, la viscosidad de la solución, voltaje aplicado y la distancia de la punta de colector y caudal. El electro-hilado se ha desarrollado como una alternativa a las técnicas convencionales utilizadas para la microencapsulación (Jaworek, 2007).



**Figura 13.** Equipo de electrohilado a nivel laboratorio (Inovenso, 2022).

### 3.4.1 Componentes del equipo de electrohilado

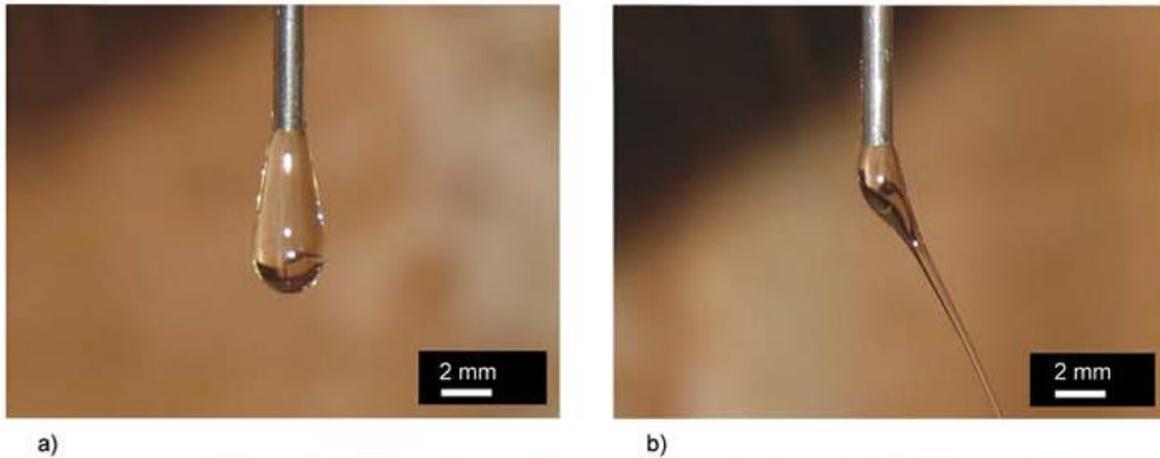
➤ Bomba de jeringa

El equipo de electrohilado cuenta con un sistema de inyección compuesto por una bomba de infusión la cual se encarga de empujar la solución polimérica hacia la aguja con una velocidad determinada, la bomba de infusión se coloca una jeringa de plástico que sirve como reservorio de la solución y una aguja que funciona como electrodo positivo; la bomba de infusión se controla con la velocidad de desplazamiento permitiendo así que el flujo de inyección sea constante durante el depósito (Li & Xia, 2004).

➤ Suministro de alto voltaje

La generación de alto voltaje la proporciona una fuente de poder con un rango de operación de 0-30 kV, de esta fuente salen dos polaridades, una positiva que va conectada a una aguja que funciona como un capilar en la que a través de ésta el líquido es inyectado para ser electrodepositado y la polaridad negativa va conectada al colector donde se deposita el producto hilado. El colector básicamente consiste en una placa metálica conductora, generalmente se utiliza una hoja de papel aluminio (Frenot & Chronakis, 2003). Se aplica un voltaje eléctrico a la solución del polímero dando como resultado una

acumulación de cargas eléctricas en la superficie del líquido. Cuando se aplica un voltaje la repulsión “coulombic” de las cargas supera la tensión superficial de las gotas de polímero y luego el chorro es expulsado (Jeyakumari, 2016).



**Figura 14.** Solución en ausencia de un campo eléctrico, b) Solución sometida a una carga eléctrica de 10 Kv (Yu et al., 2011).

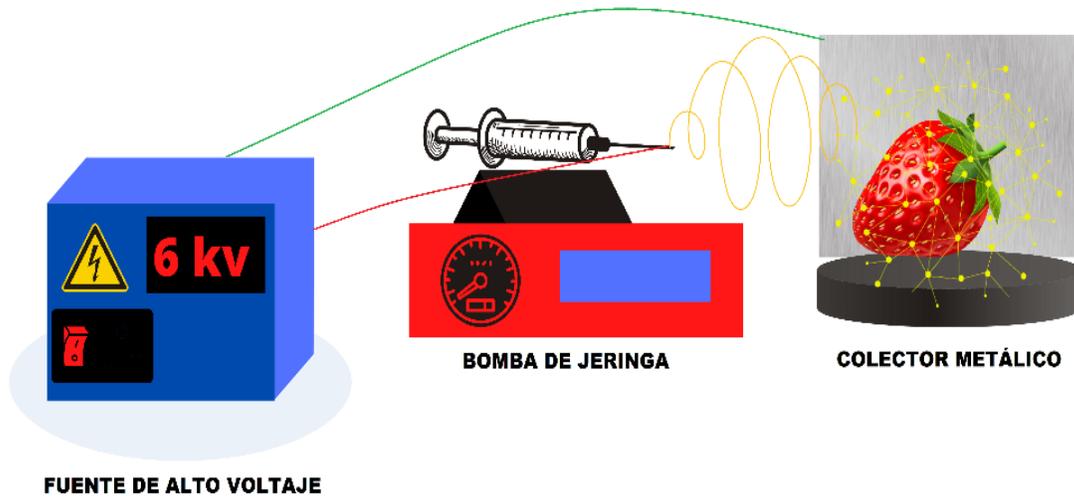
➤ Colector

Los colectores utilizados para el proceso de electrohilado son importantes ya que es donde se depositan las fibras. Existen distintos tipos de colectores, se recomienda que sean superficies conductoras (aluminio) para que la descarga de alto voltaje se realice adecuadamente; del colector utilizado deben desprenderse fácilmente las nanofibras. Los colectores más utilizados son mallas, cuadrículas, tambores rotatorios o varillas giratorias (Pataquiva Mateus & Coba Daza, 2018). Para ciertos materiales, las fibras en el rango de nano escala se pueden obtener ajustando las propiedades de la solución y los parámetros de proceso (aumentar la distancia de la punta al colector y/o disminuir la concentración de polímero) (Echegoyen et al., 2017).

El electrohilado tiene una configuración básica que consta de tres componentes:

- Una fuente de alimentación de alto voltaje
- Una bomba de jeringa

- Una superficie colectora



**Figura 15.** Ensamble de la técnica de electrohilado. Adaptado (Duque Sánchez et al., 2014).

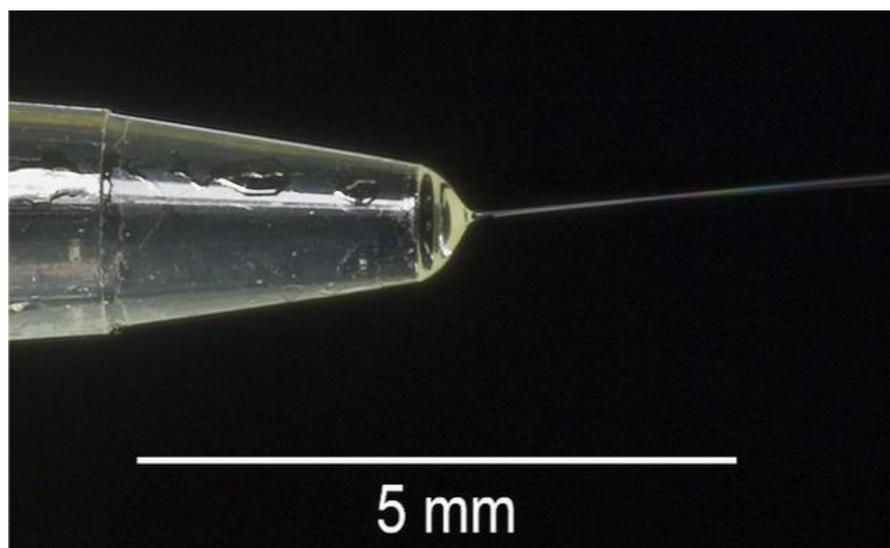
### 3.4.2 Parámetros de procesamiento

#### 3.4.2.1 Voltaje

Uno de los parámetros más importantes del proceso de electrohilado es el voltaje crítico para la formación de fibras. El papel de este voltaje crítico es bien establecido, se ha sugerido que aumentar el voltaje puede aumentar la potencia de eyección del polímero que entonces dará lugar a la formación de fibras con diferentes diámetros, también conduce al aumento de las fuerzas repulsivas electrostáticas en el chorro de fluido, que finalmente da como resultado el mayor estiramiento de la solución debido al campo eléctrico (Reneker et al., 2000). Por lo general, son necesarios voltajes de operación entre 6kV y 20kV para causar una distorsión de la gota para formar el llamado cono de Taylor del cual se expulsa el chorro de polímero.

- Cono de Taylor

La fibra se formará al producirse una gota de la solución del polímero en la punta de la aguja que se ha formado como consecuencia del bombeo la cual se electrifica fuertemente, y las cargas inducidas se distribuyen uniformemente sobre la superficie. En consecuencia, la gota experimenta dos fuerzas electrostáticas: La fuerza de repulsión entre las cargas superficiales y la fuerza coulombica ejercida por el campo eléctrico externo debido a la acción de estas interacciones, la gota se distorsiona adquiriendo una forma cónica, conocida como cono de Taylor (Subbiah et al., 2005).



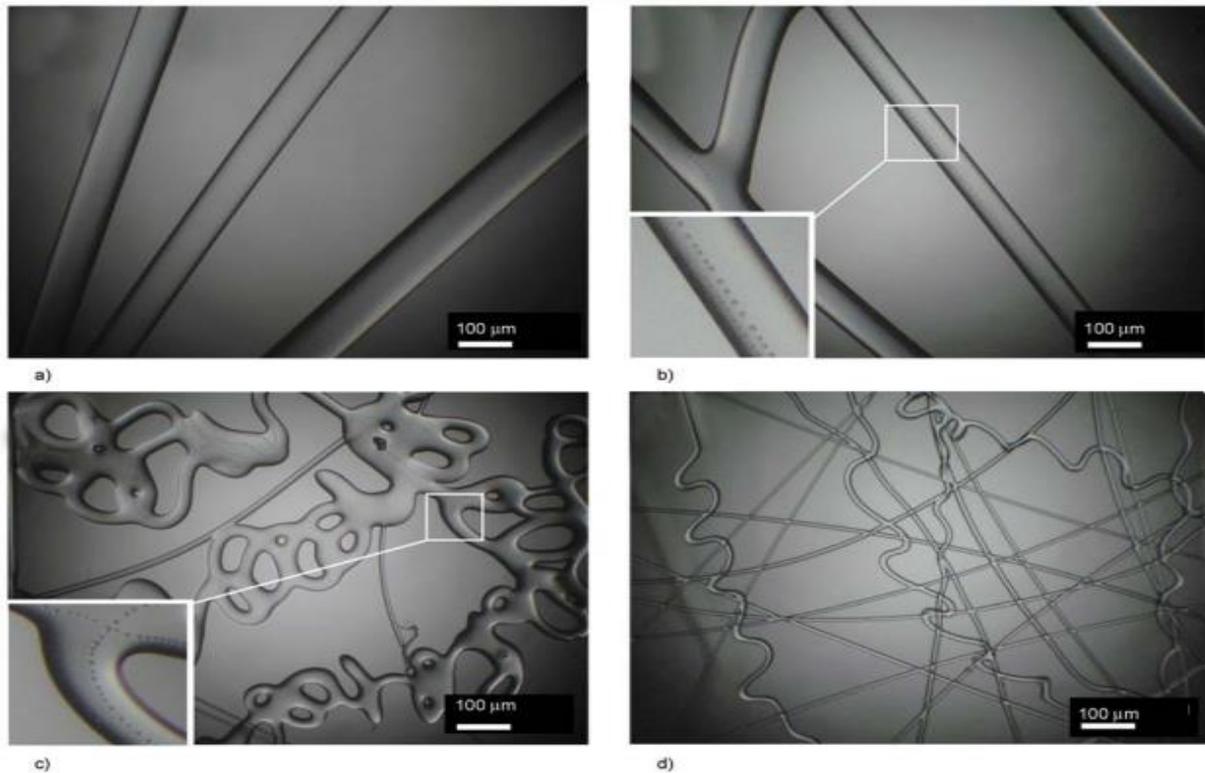
**Figura 16.** Fibra eyectada desde el cono de Taylor (Castañón, 2014).

#### 3.4.2.2 Velocidad de inyección

La velocidad de inyección es un parámetro importante ya que influye en el material, si la velocidad es muy baja el solvente podría evaporarse, pero también altas velocidades podrían resultar en nanofibras con perlas debido a la falta de tiempo de secado adecuado antes de llegar al colector (Kim et al., 2005). La velocidad de inyección también depende del voltaje aplicado para que el cono de Taylor se mantenga estable. Al aumentar la velocidad de inyección las fibras salen con un diámetro mayor, debido a que se encuentra un mayor volumen de solución. Por lo que se recomienda una velocidad baja para que el polímero tenga suficiente tiempo de secado para formar la fibra (Ramakrishna et al. 2005).

### 3.4.2.3 Distancia entre la punta de la aguja y el colector

La distancia entre la punta de la aguja y el colector es otro parámetro que puede afectar la morfología de las fibras, esto debido al tiempo de deposición, la tasa de evaporación y la fuerza del campo eléctrico (Subbiah et al., 2005). Este parámetro se ha estudiado para controlar los diámetros de las fibras y se ha mencionado que se requiere una mínima distancia para dar a las fibras el tiempo suficiente para formarse antes de llegar al colector, cuando la distancia es demasiado corta se pueden llegar a formar “perlas”, de lo contrario incrementando la distancia se obtiene una disminución del diámetro de las fibras, además de correr el riesgo de que las fibras se quiebren y no sean depositadas en el colector (Ramakrishna et al. 2005).



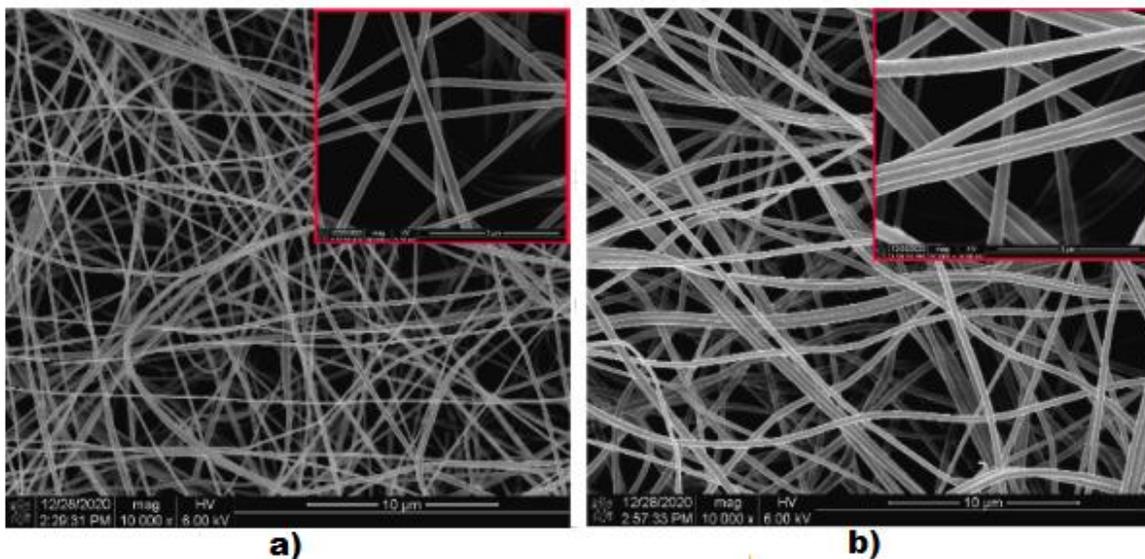
**Figura 17.** Imágenes microscópicas de fibras recolectadas a diferentes distancias a) 5 cm, b) 15 cm, c) 18 cm y d) 22cm (Yu et al., 2011).

Los experimentos realizados en cuanto este parámetro, han estudiado distancias de  $<10$  cm y otros  $>10$  cm, se encontró que a distancias cortas el diámetro de la fibra era más grueso ya que el chorro no está lo suficientemente diluido antes de ser colectado (Kong &

Jo, 2008; Dalton et al., 2006). Es importante un método de optimización con los parámetros más relevantes como la distancia aguja-colector, flujo de salida, voltaje y concentración de la solución (Li & Xia, 2004).

#### 3.4.2.4 Diámetro interno de la aguja

El diámetro interno de la aguja de la jeringa es otro parámetro sobre el proceso de electrohilado, un diámetro pequeño disminuye el diámetro de las fibras y se reduce el atascamiento debido a que se expone una cantidad baja del polímero en la punta de la aguja, pero si es demasiado pequeño el orificio puede causar que el polímero no pueda salir correctamente, resultando que la solución no sea alargada y elongada antes de que llegue al colector (Bhardwaj & Kundu, 2010), es importante mencionar que el diámetro de la aguja es directamente proporcional al diámetro de la fibra (Detta et al, 2010). Se recomienda tener un diámetro de la aguja que permita salir correctamente la solución para que se mantenga el cono de Taylor estable (Teo & Ramakrishna, 2006).



**Figura 18.** Imágenes microscópicas diferentes diámetros de nanofibras a)  $176.81 \pm 43.14$  nm, b)  $379.07 \pm 100.14$  nm (Duan et al., 2021).

#### 3.4.2.5 Parámetros ambientales

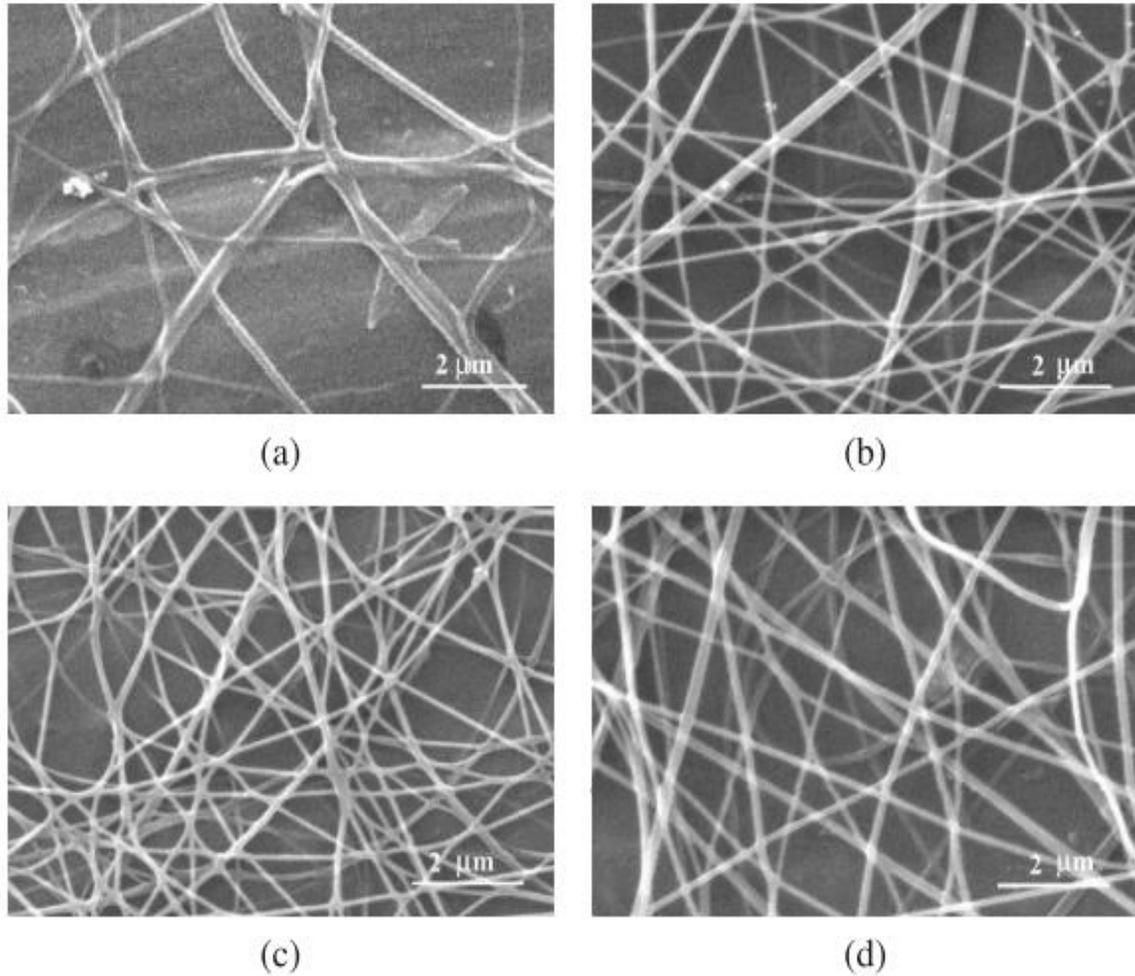
Para el proceso de electrohilado se han mencionado los parámetros ambientales como un factor importante para su elaboración, teniendo en cuenta la temperatura ambiente y la humedad. Se han realizado estudios demostrando que si la temperatura aumenta, el diámetro de las fibras disminuye, el rango de temperatura adecuado para la fabricación de fibras varía dependiendo de cada polímero, regularmente se recomiendan temperaturas entre los 20°C- 25°C (Mit-Uppatham et al., 2004).

En cuanto a la humedad se ha evaluado la influencia de este parámetro en la elaboración de nanofibras, demostrando que si la humedad aumenta pueden aparecer pequeños poros circulares en la superficie de las fibras. El agua condensada en la superficie de las fibras, al trabajar con alta humedad, puede tener influencia en la morfología de las fibras, en especial cuando se trabaja con disolventes volátiles (Casper et al., 2004). La humedad en el ambiente podría determinar la velocidad de evaporación del disolvente en la solución, si la humedad relativa es baja, un disolvente volátil podría evaporarse muy rápido, debido a este parámetro las fibras pueden tener diversos tamaños y formas (Megelski et al 2002).

### 3.4.2.6 Parámetros de la solución

#### 3.4.2.6.1 Peso molecular

Un parámetro muy importante en el proceso de electrohilado es el peso molecular, ya que determina el diámetro de la fibra en el electrohilado. Los polímeros de mayor peso molecular poseen un mayor grado de enredo de cadenas, dando como resultado diámetros de fibras más gruesos, por el contrario a medida que el peso molecular es menor, el diámetro de la fibra también disminuye (Hutmacher & Dalton, 2011; Lyons et al., 2004). La longitud de la cadena del polímero va relacionada con el peso molecular que representa la longitud, la cual tiene efecto sobre la viscosidad de la solución debido a que la longitud del polímero determina la cantidad de interacciones del polímero en el solvente, por lo cual la solución para la fabricación de nanofibras debe estar con suficiente peso molecular para que proporcione suficiente viscosidad (Teo & Ramakrishna, 2006).

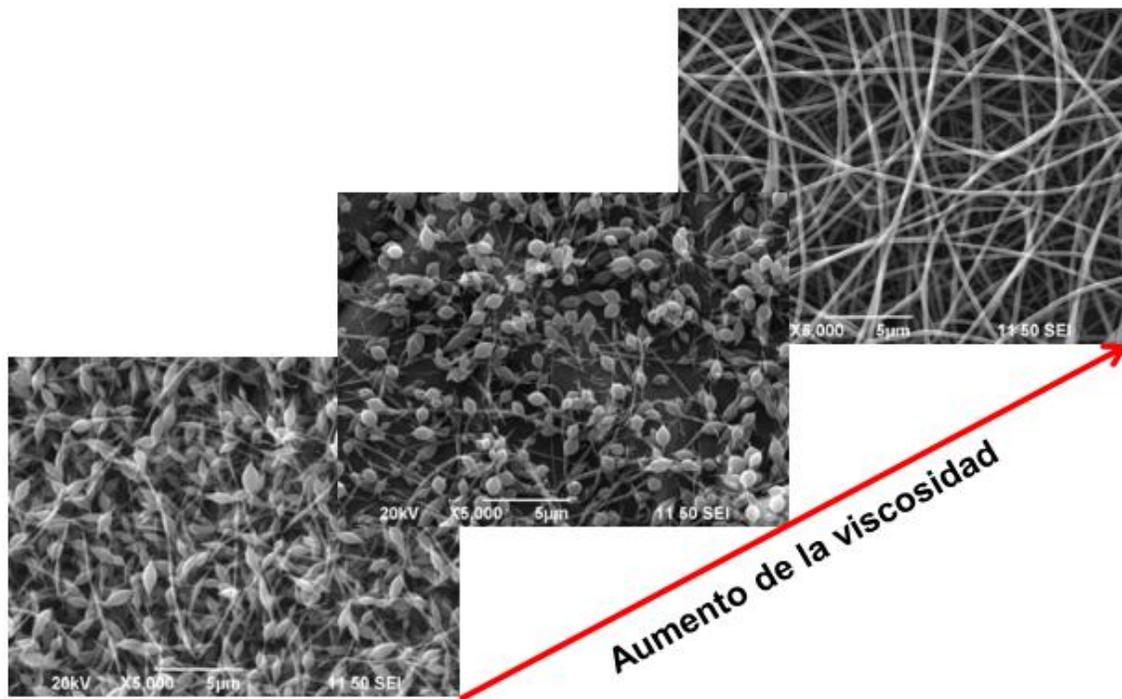


**Figura 19.** Micrografías electrónicas de barrido de fibras electrohiladas a partir de soluciones de quitosano al 6% en peso (1:1, p/p) con diferentes masas moleculares a) 600 kDa, b) 1500 kDa, c) 2300 kDa, d) 4000 kDa (Duan et al., 2012).

#### 3.4.2.6.2 Viscosidad

Otro parámetro importante en el electrohilado es la viscosidad de la dispersión, ya que impacta el proceso de la dispersión del polímero que está relacionado con la extensión de la cadena molecular de polímero, el entrelazamiento de polímeros es crítico para la formación de fibras. Si los polímeros no están enredados, se formarán perlas o gotitas, en lugar de fibras. Ambas propiedades como la concentración y el polímero tienen una profunda influencia en el resultado morfológico de las fibras (Huang et al., 2003). Además, si la viscosidad es muy baja conduce a la formación de gotitas, por el contrario, si la viscosidad es alta se dificulta la expulsión de chorros del polímero, por lo tanto no se

formará la fibra. El electrohilado, por lo tanto, requiere una viscosidad de solución óptima (Zhang & Hsieh, 2008). La viscosidad del polímero determinará si las nanofibras se forman o no, esto dependiendo de la solución, ya que si se encuentra con baja viscosidad la nanofibra puede crear gotas haciendo que éstas se rompan antes de llegar al colector, por el contrario, si la solución es demasiado viscosa las nanofibras no podrán ser formadas debido a la dificultad para pasar a través del capilar. Es importante contar con un rango óptimo de la concentración del polímero para que los parámetros se mantengan constantes (Sill & von Recum, 2008).



**Figura 20.** Efecto de la viscosidad de las soluciones poliméricas sobre la morfología de la nanofibras (Orozco, 2013).

Existen varias formas de reducir la viscosidad de los polímeros, como aumentar la temperatura del proceso y la adición de aditivos modificadores de reología. Las propiedades reológicas de las dispersiones poliméricas juegan un papel crucial en la determinación de la capacidad de formación de fibras en el proceso de electrohilado, una de las propiedades más importantes de la dispersión incluye la dependencia de la

concentración de la viscosidad, tensión superficial y conductividad eléctrica que varían según los tipos de polímeros y sus pesos moleculares (Lin et al., 2004). Para lograr un electrohilado efectivo, el polímero debe ser altamente soluble y tener una estructura necesaria para que las cadenas del polímero se entrelacen con el solvente. A viscosidades más bajas, el grado de enredos de la cadena del polímero suele ser menor. Por lo tanto, es más probable que los chorros de polímero se rompan y formen gotas debido a la baja fuerza viscoelástica (Duan et al., 2012).

La concentración de la dispersión debe tener una viscosidad adecuada formando una gota colgante en la punta de la aguja para evitar restringir el flujo de la solución desde la punta de la aguja. La viscosidad de la solución debe ser suficiente para mantener la formación de chorro en el campo eléctrico para formar una nanofibra continua (Üner & Dilara Kocak, 2012). Generalmente las soluciones de polímero deben tener:

- Una tensión superficial suficientemente baja como para ser superada por un campo eléctrico.
- Una densidad de carga lo suficientemente alta para que se pueda superar la tensión superficial.
- Una viscosidad suficientemente alta como para asegurar el enredo suficiente de la cadena para evitar que el chorro colapse en gotitas antes que el disolvente se haya evaporado.

#### 3.4.2.6.3 Conductividad

La conductividad eléctrica de un polímero es otro parámetro importante que determina la densidad de carga que está estrechamente relacionada con el proceso de electrohilado, las soluciones con alta conductividad tienen mayor capacidad de transportar las cargas de la solución, por consiguiente, tienen una mayor fuerza para el estiramiento del chorro, lo que promueve una reducción en el diámetro de las fibras (Barakat et al., 2009). Estudios han demostrado que el aumento de la conductividad eléctrica provoca una disminución significativa en el diámetro de las fibras, mientras que cuando la conductividad es baja se observa un alargamiento insuficiente que impide la producción de fibras uniformes

(Bhardwaj & Kundu, 2010). Dependiendo del tipo de polímero y disolvente se podrá determinar la conductividad de la solución (Kim et al., 2005).

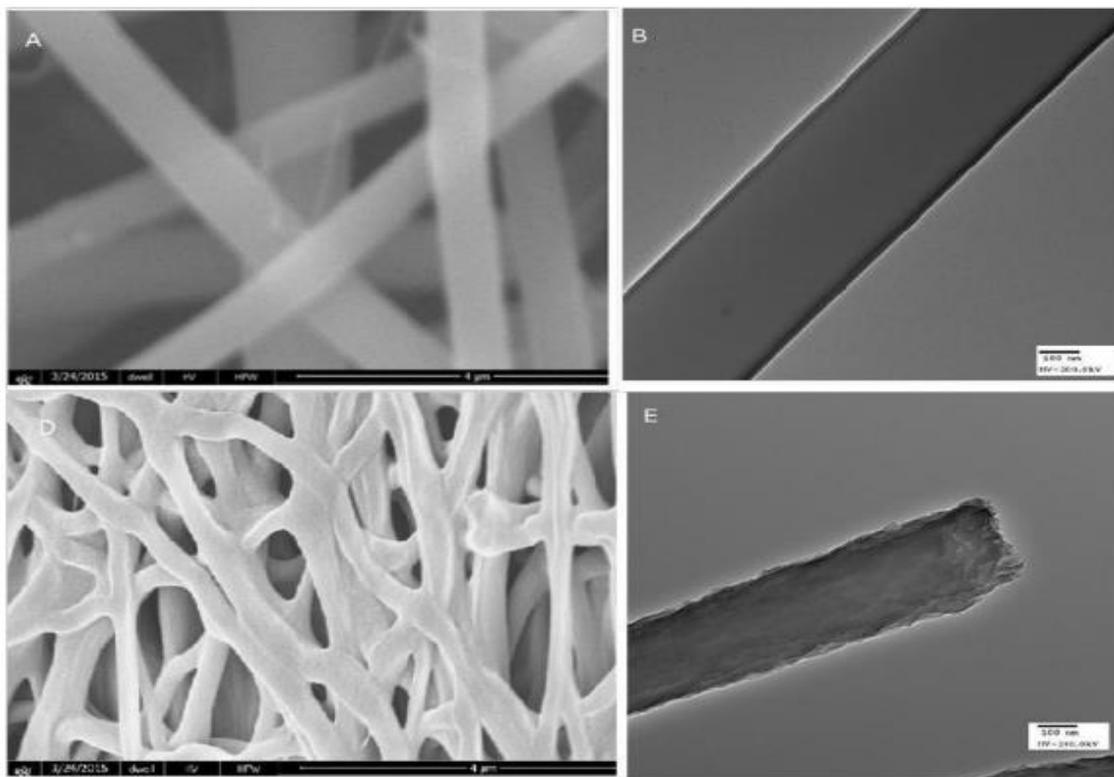
### 3.4.3 Caracterización de nanofibras

Debido a las diferentes estructuras de nanofibras que se pueden llegar a formar con los polímeros, es importante tener en cuenta las caracterizaciones físicas como su morfología, sus propiedades estructurales, mecánicas y térmicas detalladas con el fin de comprender la estructura morfológica y diseño de nanofibras para aplicaciones específicas.

#### 3.4.3.1 Morfología

La morfología de las nanofibras influye en el rendimiento de las fibras, generalmente son lisas y cilíndricas con forma de hilo. Existen algunos factores como la evaporación de la solución que pueden producir inconsistencias en la superficie de las nanofibras, afectando su morfología, en algunas ocasiones un pequeño cambio en los parámetros ambientales o de procesamiento pueden afectar la morfología de las nanofibras (Lee & Obendorf, 2006). El diseño de las nanofibras para aplicaciones específicas puede lograrse alterando la geometría del colector, hasta ahora existe una cantidad limitada de estudios relacionados en el modelado de nanofibras (Dalton et al., 2007).

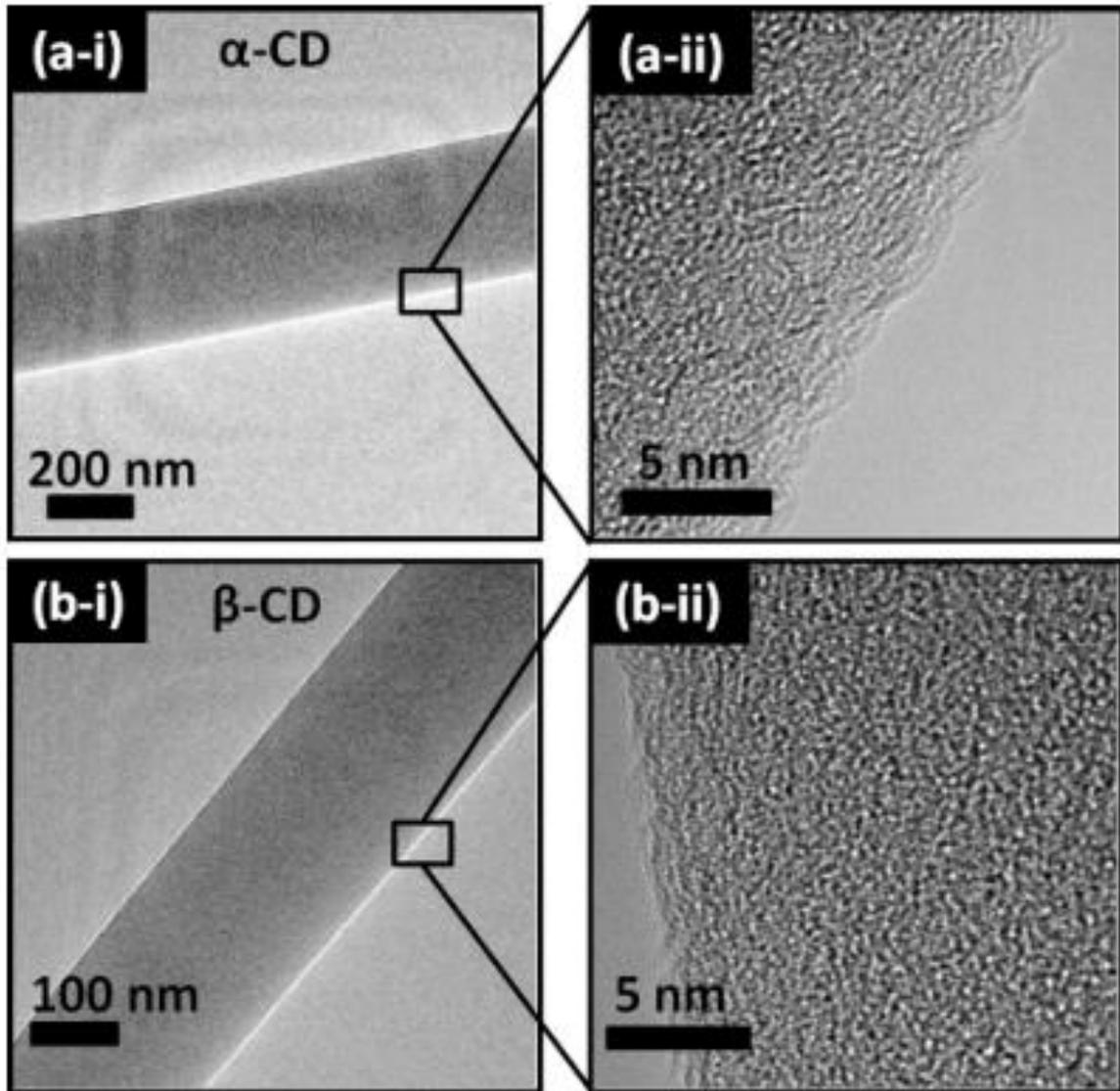
La morfología y el diámetro de las nanofibras , dependen de una serie de parámetros entre los que se encuentran: las propiedades y composición de la solución, el tipo de polímero utilizado, la viscosidad, conductividad y polaridad de la solución, así como la tensión superficial del disolvente (Ignatova et al., 2007).



**Figura 21.** Micrografía electrónica de barrido morfología de nanofibras (Dai, 2016).

### 3.4.3.2 Propiedades estructurales

Las propiedades estructurales refieren a la cristalinidad de las nanofibras, siendo este factor uno de los más importantes que determinan las propiedades mecánicas, que dependiendo del solvente utilizado pueden llegar a tener una elasticidad óptima. La formación de cristales por solidificación de cadenas poliméricas alineadas evita la evaporación de la solución, conduciendo a un grado de cristalinidad alto, obteniendo una estructura cristalina más estable (Reneker et al., 2000). Es importante mencionar que las nanofibras deben mantener una estructura alineada, manteniendo el mismo diámetro y grado de cristalinidad, asegurando que las nanofibras se obtengan siempre con la misma morfología (Zhou et al., 2006).



**Figura 22.** La  $\alpha$  y la  $\beta$  ciclodextrina son nanofibras que tienen una estructura cristalina (Celebioglu & Uyar, 2013).

### 3.4.3.3 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se definen como el agregado de índices que caracterizan la respuesta de un material bajo condiciones mecánicas (fuerza, presión, carga, etc.), en caso de los polímeros se puede medir el comportamiento elástico bajo estrés, tales como rendimiento, resistencia y resistencia a la tracción teniendo en cuenta su especificidad (peso molecular, cristalinidad, etc.), generalmente se describen como materiales viscoelásticos (Arkadii Arinstein, 2018).

Durante a vida útil de los sistemas a nano escala se ejercen varias fuerzas en las fibras, lo que puede provocar deformaciones o fallas en los mismos, por lo tanto, la caracterización mecánica de las nanofibras es fundamental para asegurar la capacidad de servicio del producto (Nayak & Padhye, 2017). Las propiedades mecánicas de las nanofibras como la resistencia a la tracción y el alargamiento se ven afectadas por la morfología superficial, tamaño del poro y distribución (Dabirian et al., 2007). Estudios han analizado el comportamiento elástico de las nanofibras, demostrando la elasticidad en comparación con el diámetro utilizando el método de microscopía de fuerza atómica (Cuenot et al., 2004).

#### 3.4.3.4 Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de las nanofibras también han demostrado distintos comportamientos en relación a la elasticidad, donde se ha demostrado que la temperatura difiere en la obtención de fibras con distintos diámetros y elasticidades, demostrando la dependencia de la temperatura para modificar el aumento o disminución del diámetro de las nanofibras (Wang & Barber, 2010). Estudios relacionados con las propiedades térmicas han sugerido definir una temperatura específica en cada proceso para predecir el diámetro y distribución de las nanofibras utilizando modelos analíticos (Vao-soongnern et al., 2000).

#### 3.4.4 Desarrollo de materiales y aplicación de nanofibras en alimentos

La nanotecnología en los alimentos, tiene su aplicación en áreas como la calidad y la seguridad alimentaria, el desarrollo de nuevos productos y envasado (Almengor, 2009). Las aplicaciones pueden ir de una escala de laboratorio hasta la industrial. Una gran variedad de polímeros pueden electro-hilarse para producir nanofibras aplicadas a alimentos (Zhao et al., 2011).

### ➤ Envasado de Alimentos

El envasado de alimentos puede proteger a los mismos del procesamiento, manipulación, almacenamiento y distribución. Además, puede proporcionar protección que se puede denominar activa. El envasado activo puede actuar como eliminador de oxígeno o como agente antimicrobiano. Las nanofibras son compatibles con compuestos activos funcionales. Estos compuestos podrían encapsularse dentro de las fibras. Las nanofibras pueden liberar los compuestos activos a través de la activación de la humedad (Fuenmayor et al., 2013).

Además de los envases activos, las nanofibras electrohiladas también se pueden utilizar como envases inteligentes. El empaque inteligente se refiere al material utilizado para los envases que podrían monitorear el cambio de calidad durante el almacenamiento. Algunos estudios refieren a la elaboración de tapetes elaborados a base de nanofibras con colorantes sensibles al pH para monitorear el cambio de pH en tiempo real de un sistema alimentario (Teng et al., 2012). Otra utilización de las nanofibras es como estructuras multicapa que proporcionan un refuerzo mecánico mejorando la protección en la textura de los alimentos agregando propiedades funcionales, produciendo una barrera al oxígeno durante el almacenamiento (Rodríguez Saucedo et al., 2014).

### ➤ Proceso de filtración

En la industria alimentaria, las membranas nanofibrosas pueden filtrar líquidos a través de sistemas de separación de líquidos impulsados por presión. Esto se debe a la pequeña porosidad de las micropartículas con tamaños que varían de 1 a 10  $\mu\text{m}$ . Estos filtros se pueden utilizar para clarificar el agua o jugos, mostrando un alto rendimiento mucho más rápido, económico y simple. Permitiendo un nuevo concepto de clarificación con enfoque en la industria de procesamiento de jugos y otros campos de la industria de alimentos (Veleirinho & Lopes-da-Silva, 2009).

### ➤ Inmovilización enzimática

La nanotecnología ha tenido grandes avances al proporcionar diferentes estructuras que sirven como soporte para la inmovilización de enzimas, debido a sus potenciales aplicaciones en áreas biológicas, como la inmovilización de enzimas sobre diferentes tipos de soportes teniendo como objetivo mejorar la estabilidad, analizando su posible utilización en operaciones continuas para mejorar la eficiencia aumentando la estabilidad térmica y pH de algunos productos (Ricardo Balam Vera Pérez, 2007).

Trabajos de investigación han demostrado el uso de la técnica de electrohilado con la finalidad de encapsular e inmovilizar enzimas, encapsulando sustancias bioactivas, facilitando su incorporación en diferentes productos (Alejos, 2017). La inmovilización enzimática ha encontrado aplicaciones en la industria alimentaria, debido al hecho de que son económicas y amigables con el medio ambiente, además de ser fáciles de utilizar en comparación con otras tecnologías (Hernández et al., 2021).

## CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DE NANOFIBRAS EN PRODUCTOS HORTOFRUTICOLAS

### 4.1 Componentes activos aplicados en la conservación de alimentos por nanofibras.

A continuación, se resumen estudios aplicados en productos frescos (hortofrutícolas), con el objetivo de dar a conocer el alcance de los recubrimientos comestibles y la posible extensión de la aplicación de tecnologías emergentes en productos altamente perecederos. La Tabla 8, enumera distintos componentes activos utilizados en diferentes alimentos con potencial aplicación en sistemas de talla submicrónica.

**Tabla 8.** Componentes activos aplicados en la conservación de alimentos por nanofibras.

Componente Activo	Aplicación	Hallazgo	Referencia
<b>Curcumina- Zeína- Extracto de té verde</b>	Recubrimientos Comestibles- Empaque de Alimentos	Las nanofibras presentaron un efecto de protección, obteniendo un efecto hidrofóbico ideal para alimentos con alto contenido en agua.	(Alehosseini et al., 2019).
<b>Zeína- Gelatina- Natamicina</b>	Envasado de Alimentos	Las nanofibras presentaron una propiedad hidrofóbica estable, mostrando una buena actividad antimicrobiana, ayudando a mejorar	(Shen et al., 2021).

		la conservación de alimentos.	
<b>Quitano- poli (<math>\epsilon</math>-caprolactona) – Aceite esencial de orégano</b>	Bioenvasado de alimentos antimicrobianos	Se mostro una buena eficacia antibacteriana, siendo una opción innovadora para fabricar bioenvases.	(Hasanpour Ardekani-Zadeh & Hosseini, 2019).
<b>Pululan- Carboximetilcelulosa – Polifenoles de té</b>	Fresas	Aumentaron la sostenibilidad, mostrando un efecto significativo en la prolongación de la vida útil.	(Shao et al., 2018).
<b>Celulosa Bacteriana</b>	Manzanas	Presentaron una excelente estabilidad térmica, con una capacidad hidrofóbica retrasando la pérdida de peso y mejorando la firmeza, además de disminuir el índice de pardeamiento.	(Zhai et al., 2020).
<b>Zeína - Curcumina</b>	Manzanas	Las nanofibras presentaron actividad antifúngica, evitando la	(Yilmaz et al., 2016).

		descomposición de las manzanas.	
<b>Quitosano- Curcumina</b>	Kiwi	Durante el periodo de almacenamiento los kiwis tuvieron un recuento microbiano reducido, manteniendo su textura y propiedades fisicoquímicas (solidos solubles, pH y color) característicos del fruto por mayor tiempo.	(Ghosh et al., 2021).
<b>Celulosa – Carragenina</b>	Uvas	El recubrimiento comestible mostró altas propiedades de barrera al agua evitando la pérdida de peso y mejorando las propiedades de permeabilidad al vapor de agua, extendiendo la vida útil de las uvas.	(Silva-Vera et al., 2018).
<b>Polivinil alcohol</b>	Bioenvases para Col Morada	Los bioenvases presentaron indicadores de pH en tiempo real.	(Maftoonazad & Ramaswamy, 2019).

<p align="center"><b>-Gelatina</b> <b>- Butilhidroxianisol</b></p>	<p align="center">Fresas</p>	<p>Se extendió la vida útil de las fresas eficientemente con propiedades antifúngicas y antibacterianas.</p>	<p align="center">(Li et al., 2018).</p>
<p align="center">- <b>Aceite esencial de tomillo</b> - <b>Gelatina</b></p>	<p align="center">Envases activos</p>	<p>Indicaron que las nanofibras presentaron una excelente actividad antimicrobiana.</p>	<p align="center">(L. Lin et al., 2018).</p>

#### 4.2 Polímeros utilizados en la formación de nanofibras

Se muestran algunas aplicaciones de diferentes polímeros utilizados en la formación de nanofibras (Tabla 9), resaltando los hallazgos encontrados:

**Tabla 9.** Polímeros utilizados en la formación de nanofibras

<b>Polímero</b>	<b>Sustancia activa</b>	<b>Hallazgo</b>	<b>Referencia</b>
<p align="center"><b>-Celulosa</b></p>	<p align="center">N/A</p>	<p>Se mejoro el rendimiento de las películas comestibles con la adición de nanofibras y la permeabilidad al vapor de agua se redujo significativamente.</p>	<p align="center">(Azeredo et al., 2009).</p>

<b>-Polivinil Alcohol - Celulosa</b>	N/A	Las nanofibras obtenidas aumentaron su resistencia mecánica.	(Tang & Liu, 2008).
<b>-Quitosano</b>	N/A	Se obtuvieron nanofibras altamente antibacterianas, con propiedades microbianas, sin alterar la calidad organoléptica del producto.	(Arkoun et al., 2018).
<b>-Povidona</b>	-Propóleo	Formación de nanofibras cargadas con propóleo con un alto potencial antibacteriano.	(Asawahame et al., 2014).
<b>-Pululano - Quitina</b>	-Curcumina -Antocianinas	Obtención de nanofibras mejoradas produciendo efectos antioxidantes y antimicrobianos.	(M. Duan et al., 2021).
<b>-Polietilenglicol</b>	-Bulgaros de leche	Las nanofibras presentaron propiedades	(Jenab et al., 2017).

		antifúngicas y antimicrobianas.	
<b>-Poli óxido de etileno</b>	- Espirulina -Ficocianina	Presentaron actividad antioxidante, ideal para proteger productos sensibles al oxígeno.	(Moreira et al., 2019).

#### 4.3 Aplicaciones de diferentes polímeros y sustancias activas en el aumento de vida útil de productos hortofrutícolas

Diversas aplicaciones se enumeran en la literatura en cuanto a aplicaciones en alimentos de diferentes sistemas de talla submicrónica, lo cual puede servir como base para el desarrollo de nanofibras de liberación controlada. La Tabla 10, ejemplifica las aplicaciones de diferentes polímeros y sustancias activas en el aumento de la vida útil de alimentos.

**Tabla 10.** Aplicaciones de diferentes polímeros y sustancias activas en el aumento de la vida útil de productos hortofrutícolas.

Tecnología	Producto	Polímero	Sustancia activa	Hallazgo	Referencia
<b>Película Comestible</b>	Mango	Quitosano	N/A	Reducción en la pérdida de agua, propiedades sensoriales y se inhibió el crecimiento de microorganismos.	(Chien et al., 2007).
<b>Película Comestible</b>	Manzana	Alginato, Goma gellan	N/A	Reducción de pérdida de humedad.	(Rojas-Graü et al., 2009).

				Ralentización de la respiración.	
<b>Película Comestible</b>	Calabaza	Carboximetil Celulosa, Qitosano	Aceite esencial de romero, olivo y ajo.	Mejoró los atributos sensoriales. Efectos antioxidantes y antimicrobianos aceptables.	(Ponce et al., 2008).
<b>Película Comestible</b>	Melón	Alginato de Sodio, Pectina, Goma Gelana	Aceite esencial de girasol	Retrasaron la senescencia y la deshidratación, manteniendo la firmeza y mejorando las propiedades organolépticas.	(G. Oms-Oliu et al., 2008).
<b>Nano emulsión</b>	Jitomate	Qitosano	Aceite esencial de flourenzia cernua	Ayudó a inhibir la proliferación de mohos y microorganismos, manteniendo una firmeza y color característico (rojo claro).	(Salas-Méndez et al., 2019)
<b>Nano emulsión</b>	Uva	Cera de Carnauba	Aceite esencial de limón	Mejoró la apariencia y brillo, evitó la contaminación por microorganismos, además mantuvo el peso y la firmeza.	(I. H. Kim et al., 2014).

<b>Película Comestible</b>	Pera	Metilcelulosa	N/A	Reducción del pardeamiento.	(Olivas et al., 2003).
<b>Película Comestible</b>	Fresa	Mucílago de Nopal	N/A	Efecto protector que mantiene la firmeza y atributos sensoriales como sabor y olor, prolongando su vida útil.	(Del-Valle et al., 2005).
<b>Película Comestible</b>	Papa	Mucílago de Nopal	N/A	Evitaron el pardeamiento y crecimiento microbiano, disminuyendo la tasa de respiración, extendiendo la vida útil.	(Wu, 2019).
<b>Película Comestible</b>	Ajo	Agar- Agar Quitosan	N/A	Inhibición de hongos y la pérdida de humedad de agua fue baja.	(Geraldine et al., 2008).

## CAPITULO V. NORMATIVIDAD DE NANOTECNOLOGÍA EN ALIMENTOS

### 5.1 Normatividad nacional

El acelerado y amplio avance en nanotecnologías ha desarrollado instrumentos legales que permiten orientar las actividades sociales y económicas, a través de ordenar el comportamiento de las organizaciones políticas y económicas, creando la existencia de estándares y regulaciones; en el caso de las normas técnicas de los nanomateriales (Tanaka, 2019). En México existe una norma vigente que gestiona la aplicación de nanomateriales manufacturados (Tabla 11):

**Tabla 11.** Norma vigente mexicana sobre nanomateriales nanofabricados (Diario Oficial de la Federación, 2017).

CLAVE O CÓDIGO	TÍTULO DE LA NORMA
<b>NMX-R-12901-1-SCFI-2015</b>	Nanotecnologías-Gestión de riesgo ocupacional aplicado a nanomateriales manufacturados. Parte 1: Principios y enfoques.
Objetivo y campo de aplicación	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Esta Norma Mexicana NMX-R-12901-1-SCFI-2015 ofrece orientación sobre las medidas de seguridad relativas a los nanomateriales manufacturados, incluyendo el uso de controles de ingeniería y equipo de protección personal, la orientación sobre el control de derrames y escapes accidentales, y orientación sobre el manejo apropiado de estos materiales en su eliminación.</li> <li>➤ Esta Norma Mexicana NMX-R-12901-1-SCFI-2015 asume su uso por personal competente, como los responsables de seguridad y de salud, directores de producción, responsables de medio ambiente, higienistas ocupacionales/industriales y otros responsables de la operación segura de las instalaciones dedicadas a la producción, manipulación, transformación y eliminación de los nanomateriales manufacturados.</li> </ul>	

- Esta Norma Mexicana NMX-R-12901-1-SCFI-2015 aplica a materiales manufacturados que consisten en nano-objetos tales como nanopartículas, nanofibras, nanotubos y nanoalambres, así como a los agregados y aglomerados de estos materiales incluyendo aquéllos de tamaño que excede la nanoescala (NOAA).
- El término "NOAA", en esta Norma Mexicana NMX-R-12901-1-SCFI-2015, aplica a dichos componentes en su forma original o incorporados en materiales o preparaciones desde los cuales pudieran liberarse durante alguna fase de su ciclo de vida, incluyendo, como resultado, las actividades al final de ese ciclo como su eliminación.

Actualmente la COFEPRIS ha establecido algunos lineamientos generales para que las dependencias y organismos reguladores del gobierno federal, emitan regulaciones sobre nanotecnologías en cualquiera de sus aplicaciones, y sobre los productos o servicios que contengan o hagan uso de nanomateriales producidos directa o indirectamente por el ser humano (COFEPRIS, 2012).

En México no existen programas nacionales de investigación en legislaciones encargadas de evaluar la nanotecnología y el uso de nanomateriales, sus riesgos en la salud o su impacto ecológico. Por ello se ha creado el SINANOTOX (Sistema Nacional de Evaluación Nano toxicológica), el cual está formado por investigadores de once laboratorios provenientes de seis instituciones, buscando convertirse en un referente nacional de seguridad para la aplicación y regulación de nanomateriales (Transferencia Tec, 2019).

## 5.2 Normatividad internacional

La Organización Internacional de Estandarización (ISO) ha publicado orientaciones acerca de cómo obtener información para lograr crear una base de datos completa sobre a seguridad de los nanomateriales y ha elaborado la normalización en el campo de las nanotecnologías (ISO/TC 229), que incluye pautas para la terminología y nomenclatura; metrología e instrumentación; metodologías de prueba, modelado y simulaciones; y la salud basada en la ciencia y la seguridad. Hasta el momento, 33 países trabajan en

actividades de estandarización sobre la nanotecnología (Olarte, 2015). Actualmente se han establecido comités encargados del tema para publicar normas internacionales con la aprobación de distintos organismos, creando el ISO/TR 13121:2011 Nanotecnologías (Evaluación de riesgos de nanomateriales), Preparado por el Comité Técnico ISO/TC 229, Nanotecnologías.

El informe ISO/TR 13121:2011 Nanotecnologías (Evaluación de riesgos de nanomateriales) ha sido destinado a ser utilizado en todos los países, independientemente si tienen esquemas legales o regulatorios que aborden los nanomateriales fabricados. Este informe se basa en el marco de Nano – Riesgo (ISO, 2011).

### 5.3 Regulación de Nanotecnología en América Latina

Los esfuerzos para una regulación de la nanotecnología en América Latina han sido escasos, gran parte de los países en Centroamérica y Sudamérica solo tocaron el tema hasta el 2011. Una de las razones se debe a que los tres países que desarrollan la gran mayoría de investigaciones y productos nanotecnológicos en América Latina (México, Brasil y Argentina), están particularmente sujetos a la dinámica de Estados Unidos y Europa (Foladori et al., 2012).

### 5.4 Normatividad Europea

Por otro lado, el Reglamento Europeo relativo a los nuevos alimentos (novel foods) establece que “a fin de garantizar un alto nivel de protección de la salud humana y de los intereses de los consumidores, todo alimento que contenga o consista en nanomateriales artificiales debe ser considerado un nuevo alimento” Reglamento (UE) 2015/2283. En el año 2008, La Comisión Europea emitió un comunicado sobre “Aspectos reglamentarios en los nanomateriales” en la que concluía que la normativa vigente abarca los riesgos potenciales para la salud, la seguridad y el medioambiente relacionados con los nanomateriales. No obstante, advertía de que el término “nanomateriales” no figuraba de manera específica en la legislación y recomendaba su inclusión, por lo que posteriormente se definió el término nanomaterial. (Comisión Europea 2008),

Es así como en 2008 , la comisión de la comunidad Europea recomendó una definición de nanomateriales con propósitos regulatorios y en 2009 el Parlamento Europeo hizo un llamado para adoptar regulación específica (Lovestam et al., 2010).

Los reglamentos existentes de alimentos en Europa han obligado a los productores a indicar en la lista de ingredientes la utilización de Nanomateriales; además de su mención en el etiquetado; proporcionando la información específica necesaria para su autorización Reglamento (UE) No 528/2012. Actualmente en la Unión Europea los nanomateriales están cubiertos por el mismo estricto marco normativo que garantiza el uso seguro de todas las sustancias químicas y las mezclas, es decir, los reglamentos REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas químicas). y CLP (Clasificación, Etiquetado y Envasado) . Esto significa que deben evaluarse las propiedades peligrosas de nanoformas de sustancias y que ha de garantizarse su uso seguro. También existen disposiciones específicas para los nanomateriales en la legislación sectorial, como la legislación en materia de alimentos (EUON, 2022). Una de las iniciativas que se tomaron en la Unión Europea fue crear el (EUON) Observatorio de Nanomateriales de la Unión Europea, que tiene como objetivo aumentar la transparencia y la información sobre nanomateriales (Chemicalwatch, 2017).

## 5.5 Estados Unidos de América

En los Estados Unidos, la regulación de la nanotecnología cae en gran medida bajo el control de la Food and Drug Administration (FDA) debido a cuestiones de seguridad relacionada en productos de consumo personal, la FDA ha expresado su apoyo al uso de la nanotecnología en nuevos productos innovadores buscando establecer pautas regulatorias claras basadas en información existente (Nanova, 2018). Estados Unidos se ha posicionado como uno de los países líderes en investigación de la nanotecnología, impulsando debates sobre los riesgos y beneficios a través de instituciones como el Centro de Nanotecnología, generando así información sobre las ventajas y desventajas (Euro residentes, 2022).

En E.E.U.U el enfoque para el desarrollo de nanotecnología ha adoptado el modelo de regulación reactiva, el cual estudia la seguridad y toxicidad de manera obligatoria, mencionando el daño potencial que se podría presentar en algunos casos (Tanaka, 2019).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arkadii Arinstein, 2018, Elctrospun Polymer Nanofibers, Pan Staford Publishing. Pte. Lts.
- Astiasarán Iciar, et al. 2000. Alimentos: Composición y Propiedades. Editorial Mc Graw Hill, México.
- Belitz, H.D. y Grosch W, Química de los alimentos. 2<sup>a</sup> ed; Editorial Acribia. Zaragoza , España, 1997. (p.1087)
- Kester, J. J. and Fennema, O. R. 1986. Edible films and coatings: A review. Food Technology 40(12): 47-59.
- Frenot, A. and Chronakis, I.S. (2003). Polymer nanofibers assembled by electrospinning. Current Opinion in Colloid and Interface science. 8:64-75
- Li, D., Babel, A., Jenekhe, S.A., & Xia, Y. (2004). Nanofibers of Conjugated Polymers Prepared by Electrospinning with a Two-Capillary Spinneret. Advanced Materials, 16, 2062-2066.
- Moraru, C. I., Panchapakesan, C. P., Huang, Q., Takhistov, P., Liu, S., & Kokini, J. L. (2003). Nanotechnology: A New Frontier in Food Science. Food Technology, 57(12), 24-29.
- ISO (International Organization for Standardization) (2015). ISO/TS 80004-2:2015. Nanotechnologies - Vocabulary - Part 2: Nano-objects. 10
- Reglamento (UE) 10/2011 de la Comisión, de 14 de enero de 2011, sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos.
- Reglamento (UE) 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2015, relativo a los nuevos alimentos.
- Comisión Europea. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo y al Comité Económico y Social Europeo sobre aspectos reglamentarios de los nanomateriales. COM (2008) 366.
- Reglamento (UE) 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor.

- Reglamento (UE) No 528/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de mayo de 2012 relativo a la comercialización y el uso de los biocidas.
- Madrid, A y Cols. 1997. Refrigeración y congelación y envasado de los alimentos. AMV Ediciones y Mundiprensa. Madrid.
- Ramakrishna, S., Fujhara, K, Teo W-E, Lim, T-Ch And Ma-Z (2005). An Introduction to electrospinning and nanofibers. (pp 90-152) Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte.Ltd
- Li D & Xia Y. Electrospinning of Nanofibers: Reinventing the Wheel? *Advanced Materials*.2004; 16(14), 1151-1170
- Casper CL, Stephens JS, Tassi NG, Chase BD, Rabolt JF "Controlling Surface Morphology of Electrospun Polystyrene Fibers Effect of Humidity and Molecular Weight in the Electrospinning Process," *Macromolecules*, 37, 573 (2004)
- Megelski S, Stephens JS, Chase DB, Rabolt JF "Micro–and Nanostructured Surface Morphology on Electrospun Polymer Fibers", *Macromolecules*, 35, 8456 (2002)
- N. Detta, T. Brown, F. K. Edin, K. Albrecht, F. Chiellini, E. Chiellini, D. W. Hutmacher, P. D. Dalton, *Polymer International* 2010, 59.  
1558 – 1562
- Acuña, L. V. (2009). Metodologías de análisis de factores de calidad en frutas tropicales y subtropicales, implementadas por el laboratorio de postcosecha de la universidad de california en Davis, estados unidos. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*.
- Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A. L., Li, Z., Qazi, I. M., Pavase, T. R., & Lv, L. (2017). A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*, 82, 163–178.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.009>
- Alehosseini, A., Gómez-Mascaraque, L. G., Martínez-Sanz, M., & López-Rubio, A. (2019). Electrospun curcumin-loaded protein nanofiber mats as active/bioactive coatings for food packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 87, 758–771.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.056>
- Alejos, J. M. L. (2017). *INMOVILIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA ENZIMA PEPSINA EN NANOFIBRAS POLIMÉRICAS MEDIANTE TÉCNICA DE ELECTROHILADO*. 25241.
- Alemán, M., Galán, L., Morales, L., & Arevalo, K. (2020). Estudio De Las Propiedades Y

- Biodegradabilidad De Plasticos ( Cast-Films ) Elaborados a Partir De Cáscara De Naranja , Pectina Y Alcohol Polivinilico ( PvoH ). *Universidad Autonoma de Nuevo León*, 1–2. [https://smbb.mx/congresos/smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA\\_IV/CIV-14.pdf](https://smbb.mx/congresos/smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_IV/CIV-14.pdf)
- Almengor, L. (2009). *Nanotecnología en la Industria Alimentaria*. 13, 35–52.
- Altan, A. (2020). *Encapsulation of carvacrol into ultrafine fibrous zein films via electrospinning for active packaging*. 26(July). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100581>
- Alvarado, J., Martínez, G., Navarrete, J., Botello, E., Calderón, M., & Jiménez, H. (2009). Fenomenología de la esterilización de alimentos líquidos enlatados. *Revista Facultad de Ingeniería*, 50, 87–98.
- Aman Mohammadi, M., Hosseini, S. M., & Yousefi, M. (2020). Application of electrospinning technique in development of intelligent food packaging: A short review of recent trends. *Food Science and Nutrition*, 8(9), 4656–4665. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1781>
- Andrade, R. D., Palacio, J. C., Pacheco, W. A., & Betin, R. A. (2012). Almacenamiento de Trozos de Ñame (*Dioscorea rotundata* Poir) en Atmósferas Modificadas. *Informacion Tecnologica*, 23(4), 65–72. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000400008>
- Aoki, H., Miyoshi, H., & Yamagata, Y. (2015). Electrospinning of gelatin nanofiber scaffolds with mild neutral cosolvents for use in tissue engineering. *Polymer Journal*, 47(3), 267–277. <https://doi.org/10.1038/pj.2014.94>
- Arias Velázquez, C. J., & Toledo Hevia, J. (2007). Manual de manejo postcosecha de frutas Tropicales (Papaya, piña, plátano, cítricos). *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación (FAO)*, 1, 50.
- Arkoun, M., Daigle, F., Holley, R. A., Heuzey, M. C., & Aji, A. (2018). Chitosan-based nanofibers as bioactive meat packaging materials. *Packaging Technology and Science*, 31(4), 185–195. <https://doi.org/10.1002/pts.2366>
- Armas, M. C., Carbajal, A., & Danny, B. (2019). 'ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE CARRAGENINA A BASE DE ALGA ROJA'. 10–12.
- Arroyo, P., Mazquiaran, L., Rodríguez, P., Valero, T., Ruiz, E., Ávila, J., & Moreira, G.

- (2018). *Frutas Y Hortalizas*, 5, 71–83.  
<https://www.fesnad.org/resources/files/Noticias/frutasYHortalizas.pdf>
- Asawahame, C., Sutjarittangtham, K., Eitssayeam, S., Tragoolpua, Y., Sirithunyalug, B., & Sirithunyalug, J. (2014). Antibacterial Activity and Inhibition of Adherence of *Streptococcus mutans* by Propolis Electrospun Fibers. *AAPS PharmSciTech*, 16(1), 182–191. <https://doi.org/10.1208/s12249-014-0209-5>
- Asensio, C. M. (2013). Varieties of oregano as an antimicrobial preservative, antioxidant and the sensory properties of foods: cottage cheese, ricotta and olive oil. *Universidad Nacional De Córdoba*, 228.
- Asif, M. H., Pathak, N., Solomos, T., & Trivedi, P. K. (2009). Effect of low oxygen, temperature and 1-methylcyclopropene on the expression of genes regulating ethylene biosynthesis and perception during ripening in apple. *South African Journal of Botany*, 75(1), 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.09.002>
- Ávalos Fúnez, A., Haza Duaso, A. I., & Morales Gómez, P. (2016). Nanotecnología en la industria alimentaria I: aplicaciones. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 10(2), 1–17. [https://doi.org/10.5209/rev\\_rccv.2016.v10.n2.53544](https://doi.org/10.5209/rev_rccv.2016.v10.n2.53544)
- Azeredo, H. M. C., Mattoso, L. H. C., Wood, D., Williams, T. G., Avena-Bustillos, R. J., & McHugh, T. H. (2009). Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. *Journal of Food Science*, 74(5), 31–35. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01186.x>
- Badui Dergal, S. (2006). Salvador Badui Dergal. In *Química de los alimentos*.
- Bapat, V. A., Trivedi, P. K., Ghosh, A., Sane, V. A., Ganapathi, T. R., & Nath, P. (2010). Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnology Advances*, 28(1), 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.10.002>
- Barakat, N. A. M., Kanjwal, M. A., Sheikh, F. A., & Kim, H. Y. (2009). Spider-net within the N6, PVA and PU electrospun nanofiber mats using salt addition: Novel strategy in the electrospinning process. *Polymer*, 50(18), 4389–4396. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2009.07.005>
- Barreiro-Méndez, J., & Sandoval-Briceño, A. (2006). Aspectos ingenieriles de la conservación de alimentos por bajas temperaturas. In *Operaciones de Conservación de Alimentos por Bajas Temperaturas* (p. 149). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=r7y3XuFAB8UC&oi=fnd&pg=PA4>

&dq=conservación+de+alimentos+a+bajas+temperaturas&ots=VQPGrszUhy&sig=0oyY92M34oAudKVIgLdbnJSsiRY#v=onepage&q&f=false

- Bautista, E. V. (2014). *Contenido de betalainas y determinación de la actividad antioxidante de accesiones de Chenopodium quinoa Willd.*
- Beaudoin, S., Vandelac, L., Papilloud, C., & Korea, S. (2013). - Nanofoods: Environmental, Health, and Socioeconomic Risks or the Achilles' Heel of Nanotechnologies? *Nanotechnology and Human Health*, 122–141. <https://doi.org/10.1201/b15341-10>
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology Advances*, 28(3), 325–347. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.01.004>
- Blandón, S. (2012). Fisiología de poscosecha. *Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal*, 20. [http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/24/11\\_Cap09.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/24/11_Cap09.pdf)
- C.S. Kong, K.J. Jo, N.K. Jo, H. S. K. (2008). Effects of the Spin Line Temperature Profile and Melt Index of Poly(propylene) on Melt-Electrospinning. *Society*, 1–10. <https://doi.org/10.1002/pen>
- Calero, A. (2006). El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2), 61–85.
- Castañón, D. (2014). *Synthesis of nanofibers at IMEM by Electrospinning. August 2009.*
- Castellari, C. C., Cendoya, M. G., Marcos Valle, F. J., Barrera, V., & Pacin, A. M. (2015). Factores extrínsecos e intrínsecos asociados a poblaciones fúngicas micotoxigénicas de granos de maíz (*Zea mays* L.) almacenados en silos bolsa en Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(4), 350–359. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.08.003>
- Celebioglu, A., & Uyar, T. (2013). Electrospinning of nanofibers from non-polymeric systems: Electrospun nanofibers from native cyclodextrins. *Journal of Colloid and Interface Science*, 404, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.04.034>
- Cevallos, V., & Londoño, L. (2018). *ACEITES ESENCIALES EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS* Valeria Ceballos Toro , Lina M. Londoño Giraldo. 1–13. <file:///H:/3659-Texto del artículo-6039-1-10-20181029.pdf>
- Chien, P. J., Sheu, F., & Yang, F. H. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 225–229.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.022>

- Colín-Orozco, J., Zapata-Torres, M., Pedroza-Islas, R., & Rodríguez-Gattorno, G. (2013). Crecimiento y caracterización de nanofibras obtenidas a partir de proteína aislada de suero lácteo y oxido de polietileno por la técnica de electrohilado. *Superficies y Vacío*, 26(2), 31–35.
- Cruz, R. M. S., Vieira, M. C., & Silva, C. L. M. (2008). Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) vitamin C degradation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(4), 483–488. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.10.005>
- Cuadrado Cano, B. S., & Vélez Castro, M. T. (2018). Contaminación microbiana en la industria de los alimentos. In *La industria de alimentos: desafíos para el siglo XXI*. <https://doi.org/10.21892/9789585547025.5>
- Cuenot, S., Frétiigny, C., Demoustier-Champagne, S., & Nysten, B. (2004). Surface tension effect on the mechanical properties of nanomaterials measured by atomic force microscopy. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 69(16), 1–5. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.69.165410>
- Dabirian, F., Hosseini, Y., & Ravandi, S. A. H. (2007). Manipulation of the electric field of electrospinning system to produce polyacrylonitrile nanofiber yarn. *Journal of the Textile Institute*, 98(3), 237–241. <https://doi.org/10.1080/00405000701463979>
- Dai, M. (2016). *Functionalized Electrospun Nanofibers for Food Science Applications*. May 2014, 123. [http://scholarworks.umass.edu/dissertations\\_2%0Ahttp://scholarworks.umass.edu/dissertations\\_2/714](http://scholarworks.umass.edu/dissertations_2%0Ahttp://scholarworks.umass.edu/dissertations_2/714)
- Dalton, P. D., Grafahrend, D., Klinkhammer, K., Klee, D., & Möller, M. (2007). Electrospinning of polymer melts: Phenomenological observations. *Polymer*, 48(23), 6823–6833. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2007.09.037>
- Dalton, P. D., Klinkhammer, K., Salber, J., Klee, D., & Möller, M. (2006). Direct in vitro electrospinning with polymer melts. *Biomacromolecules*, 7(3), 686–690. <https://doi.org/10.1021/bm050777q>
- Daybelis, I., Valdés, F., Silvia, D., Baños, B., Dayvis, I., & Valdés, F. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3),

52–56.

- De Jesus Silva, D., & D'Almeida, M. L. O. (2009). Nanocristais de celulose. *O Papel (Brazil)*, 70(7), 34–52.
- De La Fuente-Salcido, N. M., López-Anchondo, A. N., Castañeda-Ramírez, J. C., & López-De La Cruz, D. (2017). *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias Desafíos y perspectivas de cubiertas comestibles para frutas y hortalizas Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 4(11), 22–32.
- De La Vega, J. C., Cañarejo, M. A., & Pinto, N. S. (2017). Avances en tecnología de atmósferas controladas y sus aplicaciones en la industria. Una revisión. *Informacion Tecnologica*, 28(3), 75–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300009>
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A., & Galotto, M. J. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91(4), 751–756. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.002>
- Dos Santos, R. S., Arge, L. W. P., Costa, S. I., Machado, N. D., de Mello-Farias, P. C., Rombaldi, C. V., & de Oliveira, A. C. (2015). Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. *Plant OMICS*, 8(2), 78–88.
- Drosou, C. G., Krokida, M. K., & Biliaderis, C. G. (2017). Encapsulation of bioactive compounds through electrospinning/electrospraying and spray drying: A comparative assessment of food-related applications. *Drying Technology*, 35(2), 139–162. <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1162797>
- Duan, B., Dong, C., & Yuan, X. (2012). *Journal of Biomaterials Science , Polymer Edition Electrospinning of chitosan solutions in acetic acid with poly ( ethylene oxide ). October 2014*, 37–41.
- Duan, M., Yu, S., Sun, J., Jiang, H., Zhao, J., Tong, C., Hu, Y., Pang, J., & Wu, C. (2021). Development and characterization of electrospun nanofibers based on pullulan/chitin nanofibers containing curcumin and anthocyanins for active-intelligent food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187(June), 332–340. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.140>
- Duque Sánchez, L. M., Rodriguez, L., & López, M. (2014). Electrospinning: The Nanofibers Age. *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen Iber. Polímeros*,

14(141), 10–27.

- Echegoyen, Y., Fabra, M. J., Castro-Mayorga, J. L., Cherpinski, A., & Lagaron, J. M. (2017). High throughput electro-hydrodynamic processing in food encapsulation and food packaging applications: Viewpoint. *Trends in Food Science and Technology*, 60, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.019>
- Fabra, M. J., López-Rubio, A., & Lagaron, J. M. (2014). On the use of different hydrocolloids as electrospun adhesive interlayers to enhance the barrier properties of polyhydroxyalkanoates of interest in fully renewable food packaging concepts. *Food Hydrocolloids*, 39, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.023>
- Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science and Technology*, 22(6), 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.02.004>
- Foladori, G., Figueroa, S., Edgard, Z. L., & Invernizzi, N. (2012). Características distintivas del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. *Sociologias*, 30, 330–363. <https://doi.org/10.1590/S1517-45222012000200011>
- Fuenmayor, C. A., Mascheroni, E., Cosio, M. S., Piergiovanni, L., Benedetti, S., Ortenzi, M., Schiraldi, A., & Mannino, S. (2013). Encapsulation of R-(+)-limonene in edible electrospun nanofibers. *Chemical Engineering Transactions*, 32, 1771–1776. <https://doi.org/10.3303/CET1332296>
- García, M. C. A. R. (2011). *Elaboración de biopelículas a base de quitosán y pululano adicionadas con extractos de cinco diferentes plantas y su evaluación en cultivos de microorganismos periodontopatógenos*. 1–52.
- Gareis, H. (2007). *Reinhard Schrieber and Herbert Gareis*.
- Garzón S., M. D. L., Hernández L., A., Vázquez, M. L., Villafuerte R., L., & García F., B. (2008). Preparación de nanopartículas sólidas lipídicas (SLN), y de acarreadores lipídicos nanoestructurados (NLC). *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 39(4), 50–66.
- Gascón, A., Muranvnick, N., & Andreuccetti, C. P. (2013). Desección y Deshidratación de Vegetales. *Departamento de Tecnología Agroindustrial*, 56.
- Geraldine, R. M., Soares, N. de F. F., Botrel, D. A., & de Almeida Gonçalves, L. (2008). Characterization and effect of edible coatings on minimally processed garlic

- quality. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 403–409.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.012>
- Ghorani, B., & Tucker, N. (2015). Fundamentals of electrospinning as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology. *Food Hydrocolloids*, 51, 227–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.024>
- Ghosh, T., Nakano, K., & Katiyar, V. (2021). Curcumin doped functionalized cellulose nanofibers based edible chitosan coating on kiwifruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184(June), 936–945.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.098>
- Gonzales, G., Pirovani, M. E., & Salinas, R. M. (2007). Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia*, 23(2), 183–196.
- Gorny, J. R., Cifuentes, R. A., Hess-Pierce, B., & Kader, A. A. (2000). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size, and storage regime. *Journal of Food Science*, 65(3), 541–544. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16044.x>
- Gregori, G. (2007). *La transpiracion de frutas y verduras*. 1, 3.
- Griselda, Q. F. B., Villarreal, P., Elia, D., Múzquiz, M., & Lorena, D. (2020). Aplicaciones médicas de biopolímeros Medical applications of biopolymers. *CienciAcierta*, 63.
- Haghi, A. K., & Akbari, M. (2007). Trends in electrospinning of natural nanofibers. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science*, 204(6), 1830–1834.  
<https://doi.org/10.1002/pssa.200675301>
- Hasanpour Ardekani-Zadeh, A., & Hosseini, S. F. (2019). Electrospun essential oil-doped chitosan/poly( $\epsilon$ -caprolactone) hybrid nanofibrous mats for antimicrobial food biopackaging exploits. *Carbohydrate Polymers*, 223(March), 115108.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115108>
- Hernández, M., Rosa, I., Morales, B., Garrido, L., & Piñera, F. (2021). *Inmovilización una mirada a los métodos, soportes y retos*.
- Huang, L., Li, D. Q., Lin, Y. J., Wei, M., Evans, D. G., & Duan, X. (2005). Controllable preparation of Nano-MgO and investigation of its bactericidal properties. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 99(5), 986–993.  
<https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2004.12.022>
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., & Ramakrishna, S. (2003). A review on polymer

- nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63(15), 2223–2253. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00178-7](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00178-7)
- Hussain, A. I., Anwar, F., Hussain Sherazi, S. T., & Przybylski, R. (2008). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry*, 108(3), 986–995. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.010>
- Hutmacher, D. W., & Dalton, P. D. (2011). Melt electrospinning. *Chemistry - An Asian Journal*, 6(1), 44–56. <https://doi.org/10.1002/asia.201000436>
- Ignatova, M., Manolova, N., & Rashkov, I. (2007). Novel antibacterial fibers of quaternized chitosan and poly(vinyl pyrrolidone) prepared by electrospinning. *European Polymer Journal*, 43(4), 1112–1122. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2007.01.012>
- IICA, I. I. de C. para la A. (2012). *Postcosecha y buenas Prácticas de Producción orientadas a la Agricultura Familiar. 2.*
- Instituto Nacional de Seguridad y salud en el Trabajo (INSST). (2015). Seguridad y salud en el trabajo con nanomateriales. *Blamey y Otros*, 2(2), 17–22. <http://publicacionesoficiales.boe.eshttp://www.insht.es/catalogopublicaciones/>
- ISO. (2011). ISO/TR 13121. *Measurement, ISO/TR 131*, 54.
- Jain, R., Shetty, S., & Yadav, K. S. (2020). Unfolding the electrospinning potential of biopolymers for preparation of nanofibers. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 57(February), 101604. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.101604>
- Jaworek, A. (2007). Micro- and nanoparticle production by electrospraying. *Powder Technology*, 176(1), 18–35. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2007.01.035>
- Jenab, A., Roghanian, R., Emtiazi, G., & Ghaedi, K. (2017). Manufacturing and structural analysis of antimicrobial kefiran/polyethylene oxide nanofibers for food packaging. *Iranian Polymer Journal (English Edition)*, 26(1), 31–39. <https://doi.org/10.1007/s13726-016-0496-7>
- Jeyakumari. (2016). Microencapsulation of Bioactive Food Ingredients and Controlled Release - A Review. *MOJ Food Processing & Technology*, 2(6), 214–224. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.02.00059>
- Kader, A. A., Zagory, D., Kerbel, E. L., & Wang, C. Y. (1989). Critical Reviews in Food

- Science and Nutrition Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 28, Issue February 2013).
- Kasaai, M. R. (2018). Zein and zein -based nano-materials for food and nutrition applications: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 79, 184–197. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.015>
- Kawahara, M., Mizutani, K., Suzuki, S., Kitamura, S., Fukada, H., Yui, T., & Ogawa, K. (2003). Dependence of the Mechanical Properties of a Pullulan Film on the Preparation Temperature. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 67(4), 893–895. <https://doi.org/10.1271/bbb.67.893>
- Kim, B. C., Nair, S., Kim, J., Kwak, J. H., Grate, J. W., Kim, S. H., & Gu, M. B. (2005). Preparation of biocatalytic nanofibres with high activity and stability via enzyme aggregate coating on polymer nanofibres. *Nanotechnology*, 16(7). <https://doi.org/10.1088/0957-4484/16/7/011>
- Kim, C. W., Kim, D. S., Kang, S. Y., Marquez, M., & Joo, Y. L. (2006). Structural studies of electrospun cellulose nanofibers. *Polymer*, 47(14), 5097–5107. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.05.033>
- Kim, I. H., Oh, Y. A., Lee, H., Song, K. Bin, & Min, S. C. (2014). Grape berry coatings of lemongrass oil-incorporating nanoemulsion. *LWT - Food Science and Technology*, 58(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.018>
- Krasaekoopt, W., & Bhandari, B. (2011). *Procesing and Packaging of Vegetables*.
- Labet, M., & Thielemans, W. (2009). Synthesis of polycaprolactone: A review. *Chemical Society Reviews*, 38(12), 3484–3504. <https://doi.org/10.1039/b820162p>
- Latham, M. C. (2002). NUTRICIÓN HUMANA EN EL MUNDO EN DESARROLLO. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 35(11), 2077–2081. <https://doi.org/10.1109/16.7430>
- Latorre V, L. I., Pantoja, A. L., Mejía España, D. F., Osorio, O., & Hurtado, A. M. (2013). Evaluation of thermal treatments for inactivation of enzymes in fique juice (*furcraea gigantea* vent.). *Biotechnologia En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 113–122.
- Lawton, J. W. (2002). Zein: A history of processing and use. *Cereal Chemistry*, 79(1), 1–18. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.1.1>
- Lee, S., & Obendorf, S. K. (2006). Developing protective textile materials as barriers to

- liquid penetration using melt-electrospinning. *Journal of Applied Polymer Science*, *102*(4), 3430–3437. <https://doi.org/10.1002/app.24258>
- Li, L., Wang, H., Chen, M., Jiang, S., Jiang, S., Li, X., & Wang, Q. (2018). Butylated hydroxyanisole encapsulated in gelatin fiber mats: Volatile release kinetics, functional effectiveness and application to strawberry preservation. *Food Chemistry*, *269*(July), 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.150>
- Lin, L., Zhu, Y., & Cui, H. (2018). Electrospun thyme essential oil/gelatin nanofibers for active packaging against *Campylobacter jejuni* in chicken. *Lwt*, *97*(August), 711–718. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.015>
- Lin, T., Wang, H., Wang, H., & Wang, X. (2004). The charge effect of cationic surfactants on the elimination of fibre beads in the electrospinning of polystyrene. *Nanotechnology*, *15*(9), 1375–1381. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/15/9/044>
- Liu, L. S., Fishman, M. L., & Hicks, K. B. (2007). Pectin in controlled drug delivery - A review. *Cellulose*, *14*(1), 15–24. <https://doi.org/10.1007/s10570-006-9095-7>
- López-Rubio, A., & Lagaron, J. M. (2012). Whey protein capsules obtained through electrospraying for the encapsulation of bioactives. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *13*(JANUARY), 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.10.012>
- López, A. (2005). Tecnología de Envasado y Conservación de Alimentos. *Laboratorio de Procesos Químicos de CARTIF*, 11. [http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info49/articulos/Envasado y Conservacion de Alimentos \(1\).pdf](http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info49/articulos/Envasado y Conservacion de Alimentos (1).pdf)
- Lovestam, G., Rauscher, H., Roebben, G., Kluttgen, B. S., Gibson, N., Putaud, J.-P., & Stamm, H. (2010). Considerations on a definition of nanomaterial for regulatory purposes. In *JRC Reference Reports* (Vol. 24403, Issue January). [http://lerenard.info/dgs/jrc/downloads/jrc\\_reference\\_report\\_201007\\_nanomaterials.pdf](http://lerenard.info/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_201007_nanomaterials.pdf)
- Luo, P. G., & Stutzenberger, F. J. (2008). Nanotechnology in the Detection and Control of Microorganisms. *Advances in Applied Microbiology*, *63*(07), 145–181. [https://doi.org/10.1016/S0065-2164\(07\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2164(07)00004-4)
- Lyons, J., Li, C., & Ko, F. (2004). Melt-electrospinning part I: Processing parameters and

- geometric properties. *Polymer*, 45(22), 7597–7603.  
<https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.08.071>
- Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. (2019). Design and testing of an electrospun nanofiber mat as a pH biosensor and monitor the pH associated quality in fresh date fruit (Rutab). *Polymer Testing*, 75(January), 76–84.  
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.01.011>
- Magaña, W., Balbin, M., G, J. C., C, A. R., & Saucedo, C. (2006). Principales características de calidad de las pitahayas (*hylocereus undatus haworth*), frigoconservadas en atmósferas controladas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(2), 52–57.
- Mariod, A. A. (2016). Effect of essential oils on organoleptic (smell, taste, and texture) properties of food. In *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00013-4>
- Martínez M., A. (2017). Aceites Esenciales. *División de Publicaciones UIS*, 180.
- Martínez Tenorio, Y., & López Malo, A. (2018). Envases activos con agentes antimicrobianos y su aplicación en los alimentos. In *Sector De Ingeniería En Alimentos* (Vol. 1, p. 12). <file:///C:/Users/pc/Desktop/NPs Cu/24588.pdf>
- May, C. D. (1990). Industrial pectins: Sources, production and applications". *Carbohydrate Polymers. J. Ind. Appl. Pectin*, 12(1), 79–99.
- Miranda-Valdez, I. Y., Camarillo-Hernández, C. A., Reyes-Melo, M. E., Puente-Córdova, J. G., & López-Walle, B. (2019). Aspectos estructurales, reológicos y dieléctricos de la etil celulosa. *Ingenierías*, 22(83), 40–53.  
[http://ingenierias.uanl.mx/83/documentos/A22\\_N83\\_aspectos.pdf](http://ingenierias.uanl.mx/83/documentos/A22_N83_aspectos.pdf)
- Mit-Uppatham, C., Nithitanakul, M., & Supaphol, P. (2004). Ultrafine electrospun polyamide-6 fibers: Effect of solution conditions on morphology and average fiber diameter. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 205(17), 2327–2338.  
<https://doi.org/10.1002/macp.200400225>
- Moghaddam, M., Taheri, P., Pirbalouti, A. G., & Mehdizadeh, L. (2015). Chemical composition and antifungal activity of essential oil from the seed of *Echinophora platyloba* DC. against phytopathogens fungi by two different screening methods. *LWT - Food Science and Technology*, 61(2), 536–542.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.008>
- Morais, A. M. M. B., & Argañosa, A. C. S. J. (2010). Quality during storage of fresh-cut

- papaya (*Carica papaya* L.) in various shapes.. *The Philippine Agricultural Scientist*, 93(1).
- Morales, J. A. (2003). *Métodos de Conseración de Alimentos*.
- Moreira, J. B., Lim, L. T., Zavareze, E. da R., Dias, A. R. G., Costa, J. A. V., & Morais, M. G. de. (2019). Antioxidant ultrafine fibers developed with microalga compounds using a free surface electrospinning. *Food Hydrocolloids*, 93(July 2018), 131–136. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.015>
- Muñoz.Delgado, J. A. (1985). *Refrigeracion y congelación de alimentos vegetales*.
- Nayak, R., & Padhye, R. (2017). Nano Fibres by Electro spinning: Properties and Applications. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 2(5). <https://doi.org/10.15406/jteft.2017.02.00074>
- Nishiyama, K., Guis, M., Rose, J. K. C., Kubo, Y., Bennett, K. A., Wangjin, L., Kato, K., Ushijima, K., Nakano, R., Inaba, A., Bouzayen, M., Latche, A., Pech, J. C., & Bennett, A. B. (2007). Ethylene regulation of fruit softening and cell wall disassembly in Charentais melon. *Journal of Experimental Botany*, 58(6), 1281–1290. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl283>
- Olarte, M. A. R. (2015). Fundamentos Para Una Regulación Específica de la Nanotecnología en Colombia. *Pontificia Universidad Javeriana, Bogota*, 3(2), 124–133.
- Olivas, G. I., Rodriguez, J. J., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2003). Edible coatings composed of methylcellulose, stearic acid, and additives to preserve quality of pear wedges. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27(4), 299–320. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2003.tb00519.x>
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 1862–1870. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.007>
- Oms-Oliu, Gemma, Hertog, M. L. A. T. M., Van de Poel, B., Ampofo-Asiama, J., Geeraerd, A. H., & Nicolai, B. M. (2011). Metabolic characterization of tomato fruit during preharvest development, ripening, and postharvest shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.010>
- Orozco, J. C. (2013). *Tesis Doctorado Colin Orozco Julia*.

- Orsat, V., Gariépy, Y., Raghavan, G. S. V., & Lyew, D. (2001). Radio-frequency treatment for ready-to-eat fresh carrots. *Food Research International*, 34(6), 527–536. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00068-0](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00068-0)
- Pardeike, J., Hommoss, A., & Müller, R. H. (2009). Lipid nanoparticles (SLN, NLC) in cosmetic and pharmaceutical dermal products. *International Journal of Pharmaceutics*, 366(1–2), 170–184. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2008.10.003>
- Parra Coronado, A. (1989). Comercialización de frutas y hortalizas. *Ingeniería e Investigación*, 19, 14–19. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.n19.19666>
- Pastene, E. R. (2009). Estado actual de la búsqueda de plantas con actividad antioxidante. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6), 449–455.
- Pataquiva Mateus, A., & Coba Daza, S. (2018). Producción de nanofibras poliméricas mediante el proceso de electrospinning y su uso potencial. *Revista Mutis*, 8(1), 17–33. <https://doi.org/10.21789/22561498.1375>
- Pech, J.-C., Purgatto, E., Girardi, C., Valmor Rombaldi, C., & Latche, A. (2013). Current challenges in postharvest biology of fruit ripening. *Revista Brasileira de Agrociência*, 19(1), 1–18. <https://doi.org/10.18539/cast.v19i1.2384>
- Ponce, A. G., Roura, S. I., del Valle, C. E., & Moreira, M. R. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: In vitro and in vivo studies. *Postharvest Biology and Technology*, 49(2), 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.02.013>
- Quintana, A. M. (2016). GENERACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA LA OBTENCIÓN DE MICRO Y NANOFIBRAS CON MORFOLOGÍA CORE-SHELL A BASE DE BIOPOLÍMEROS. *Departamento de Ciencias Biológicas*, 1(69), 5–24.
- Raghav, P. K., Agarwal, N., Saini, M., Vidhyapeeth, J., & Vidhyapeeth, J. (2016). Edible Coating of Fruits and Vegetables : *International Journal of Scientific and Modern Education*, 1(1), 188–204.
- Realini, C. E., & Marcos, B. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*, 98(3), 404–419. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>
- Reddy, N., & Yang, Y. (2011). Potential of plant proteins for medical applications. *Trends*

- in Biotechnology*, 29(10), 490–498. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.05.003>
- Reneker, D. H., Yarin, A. L., Fong, H., & Koombhongse, S. (2000). Bending instability of electrically charged liquid jets of polymer solutions in electrospinning. *Journal of Applied Physics*, 87(9 I), 4531–4547. <https://doi.org/10.1063/1.373532>
- Ricardo Balam Vera Pérez, A. A. R. (2007). Diseño de un nanosoporte para la inmovilización de enzimas. *Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro*.
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Barat, J. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18(7), 373–386. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.03.011>
- Ríos, R. C., Arzave, J. A. R., Horta, G., & Robledo, E. R. (2018). *Nanotecnología aplicada al desarrollo de películas inteligentes para la conservación de productos hortofrutícolas*. *ABSTRACT* : 3, 241–246.
- Rodríguez Saucedo, R., Rojo-Martínez, G., Martínez Ruiz, R., Piña-Ruiz, H. H., Ramírez-Valverde, B., Vaquera Huerta, H., & Cong Hermida, M. (2014). Envases Inteligentes Para La Conservación De Alimentos Smart Packaging for Food Preservation. *Ra Ximhai*, 10(10), 151–173. <http://www.redalyc.org/pdf/461/46132135012.pdf>
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20(10), 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.05.002>
- Romero-serrano, A., Pereira, J., Romero-Serrano, A., & Pereira, J. (2020). Review: Chitosan, a versatile biomaterial. State of the art from its obtaining to its multiple applications *Alimed*. *Revista INGENIERÍA UC*, 27(2), 118–135. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70764230002>
- Romero Casado, M. del C. (2016). Tratamientos poscosecha para el control de los daños por frío en frutos climatéricos y no climatéricos. *Proyecto de Investigación*:
- Salas-Méndez, E. de J., Vicente, A., Pinheiro, A. C., Ballesteros, L. F., Silva, P., Rodríguez-García, R., Hernández-Castillo, F. D., Díaz-Jiménez, M. de L. V., Flores-López, M. L., Villarreal-Quintanilla, J. Á., Peña-Ramos, F. M., Carrillo-Lomelí, D. A., & Jasso de Rodríguez, D. (2019). Application of edible nanolaminate coatings with

- antimicrobial extract of *Flourensia cernua* to extend the shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 150(December 2018), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.12.008>
- Santaya, M. del C. P. de. (2018). *Trabajo Fin De Grado Título : Nanotecnología Y Alimentación*. [http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARIA DEL CARMEN PARDO DE SANTAYANA DE PABLO.pdf](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARIA_DEL_CARMEN_PARDO_DE_SANTAYANA_DE_PABLO.pdf)
- Shao, P., Niu, B., Chen, H., & Sun, P. (2018). Fabrication and characterization of tea polyphenols loaded pullulan-CMC electrospun nanofiber for fruit preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1908–1914. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.054>
- Shao, X., Cao, B., Xu, F., Xie, S., Yu, D., & Wang, H. (2015). Effect of postharvest application of chitosan combined with clove oil against citrus green mold. *Postharvest Biology and Technology*, 99, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.07.014>
- Shen, C., Cao, Y., Rao, J., Zou, Y., Zhang, H., Wu, D., & Chen, K. (2021). Application of solution blow spinning to rapidly fabricate natamycin-loaded gelatin/zein/polyurethane antimicrobial nanofibers for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 29(July). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100721>
- Sill, T. J., & von Recum, H. A. (2008). Electrospinning: Applications in drug delivery and tissue engineering. *Biomaterials*, 29(13), 1989–2006. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.01.011>
- Silva-Vera, W., Zamorano-Riquelme, M., Rocco-Orellana, C., Vega-Viveros, R., Gimenez-Castillo, B., Silva-Weiss, A., & Osorio-Lira, F. (2018). Study of spray system applications of edible coating suspensions based on hydrocolloids containing cellulose nanofibers on grape surface (*Vitis vinifera* L.). *Food and Bioprocess Technology*, 11(8), 1575–1585. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2126-1>
- Silva Gomes, V. T., Gomes, R. S., Gomes, M. S., Viana, L. V. M., Da Conceição, F. R., De Amorim, L. M. M., & Genaro, P. D. S. (2017). Antioxidantes Em Alimentos: Informações Rotulares. *Revista Univap*, 22(40), 654. <https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.1295>
- Sorrentino, A., Gorrasi, G., & Vittoria, V. (2007). Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science and*

- Technology*, 18(2), 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.09.004>
- Subbiah, T., Bhat, G. S., Tock, R. W., Parameswaran, S., & Ramkumar, S. S. (2005). Electrospinning of nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(2), 557–569. <https://doi.org/10.1002/app.21481>
- Sundaray, B., Subramanian, V., Natarajan, T. S., Xiang, R. Z., Chang, C. C., & Fann, W. S. (2004). Electrospinning of continuous aligned polymer fibers. *Applied Physics Letters*, 84(7), 1222–1224. <https://doi.org/10.1063/1.1647685>
- Tanaka, L. S. (2019). Regulado la nanotecnología Regulating nanotechnology. *Mundo Nano*, 12(22), 37–57.
- Tang, C., & Liu, H. (2008). Cellulose nanofiber reinforced poly(vinyl alcohol) composite film with high visible light transmittance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(10), 1638–1643. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.07.005>
- Teng, M., Qiao, J., Li, F., & Bera, P. K. (2012). Electrospun mesoporous carbon nanofibers produced from phenolic resin and their use in the adsorption of large dye molecules. *Carbon*, 50(8), 2877–2886. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.02.056>
- Teo, W. E., & Ramakrishna, S. (2006). A review on electrospinning design and nanofibre assemblies. *Nanotechnology*, 17(14). <https://doi.org/10.1088/0957-4484/17/14/R01>
- Toivonen, P. M. A., & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.004>
- Topuz, F., & Uyar, T. (2020). Antioxidant, antibacterial and antifungal electrospun nanofibers for food packaging applications. *Food Research International*, 130, 108927. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108927>
- Üner, İ., & Dilara KOÇAK, E. (2012). *POLİLaktikAsit)In Kullanım Alanları Ve NanoLiÜretimdeki Uygulamaları*. 79–88.
- Urrejola, M. C., Soto, L. V., Zumarán, C. C., Peñaloza, J. P., Álvarez, B., & Fuentesvilla, I. (2018). *Sistemas de Nanopartículas Poliméricas II : Estructura , Métodos de Elaboración , Características , Propiedades , Biofuncionalización y Tecnologías de Auto-Ensamblaje Capa por Capa ( Layer-by-Layer Self-Assembly )*. 36(4),

1463–1471.

- Usano, J., Palá, J., & Díaz, S. (2014). *Aceites esenciales: conceptos básicos y actividad antibacteriana.Reduca (Biología) [revista en Internet] 2014 [acceso 01 de diciembre de 2021]; 7(2): 60-70. 7(2), 60–70.*  
<http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1553/1747>
- Valdiviezo-Morales, L., Ortega-Cerrilla, M. E., Vaquera-Huerta, H., Kawas-Garza, J. R., Zetina-Córdoba, P., & Miranda-Jiménez, L. (2017). Micro Y Nanoencapsulación: Una Perspectiva Biotecnológica En La Producción Animal. *Micro and Nano Encapsulation: A Biotechnological Perspective in Animal Production.*, 10(5), 63–68.  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=123874260&site=ehost-live>
- Vao-soongnern, V., Doruker, P., & Mattice, W. L. (2000). Simulation of an amorphous polyethylene nanofiber on a high coordination lattice. *Macromolecular Theory and Simulations*, 9(1), 1–13. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3919\(20000101\)9:1<1::AID-MATS1>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3919(20000101)9:1<1::AID-MATS1>3.0.CO;2-R)
- Vartiainen, J., Vähä-Nissi, M., & Harlin, A. (2014). Biopolymer Films and Coatings in Packaging Applications—A Review of Recent Developments. *Materials Sciences and Applications*, 05(10), 708–718. <https://doi.org/10.4236/msa.2014.510072>
- Vásconez, M. B., Flores, S. K., Campos, C. A., Alvarado, J., & Gerschenson, L. N. (2009). Antimicrobial activity and physical properties of chitosan-tapioca starch based edible films and coatings. *Food Research International*, 42(7), 762–769. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.026>
- VázquezAguilar., A. I. G.-S. T. G. C.-C. V. R.-M. M. M. (2007). *Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos.*
- Veleirinho, B., & Lopes-da-Silva, J. A. (2009). Application of electrospun poly(ethylene terephthalate) nanofiber mat to apple juice clarification. *Process Biochemistry*, 44(3), 353–356. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2008.11.008>
- Villada, H. S., Acosta, H., & Velasco, R. (2007). Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios*, 12(2), 5–19. <https://doi.org/10.21897/rta.v12i2.652>
- Virgil, M. (2017). Sistema De Refrigeracion por Compresion. *Termodinamica*, 1(2), 663.

<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17271/1/refrigeracion.pdf>

- Wang, W., & Barber, A. H. (2010). Diameter-dependent melting behaviour in electrospun polymer fibres. *Nanotechnology*, 21(22). <https://doi.org/10.1088/0957-4484/21/22/225701>
- Watada, A. E., & Qi, L. (1999). *Quality of fresh-cut produce*. 15, 201–205.
- Woodruff, M. A., & Hutmacher, D. W. (2010). The return of a forgotten polymer - Polycaprolactone in the 21st century. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 35(10), 1217–1256. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.04.002>
- Wu, S. (2019). Extending shelf-life of fresh-cut potato with cactus *Opuntia dillenii* polysaccharide-based edible coatings. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 640–644. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.022>
- Yang, Q., Ma, Y., & Zhu, J. (2016). Sustained drug release from electrostatic powder coated tablets with ultrafine ethylcellulose powders. *Advanced Powder Technology*, 27(5), 2145–2152. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2016.07.027>
- Yilmaz, A., Bozkurt, F., Cicek, P. K., Dertli, E., Durak, M. Z., & Yilmaz, M. T. (2016). A novel antifungal surface-coating application to limit postharvest decay on coated apples: Molecular, thermal and morphological properties of electrospun zein–nanofiber mats loaded with curcumin. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.008>
- Yu, D. G., Branford-White, C., White, K., Chatterton, N. P., Zhu, L. M., Huang, L. Y., & Wang, B. (2011). A modified coaxial electrospinning for preparing fibers from a high concentration polymer solution. *Express Polymer Letters*, 5(8), 732–741. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2011.71>
- Yuan, Y., Gao, Y., Zhao, J., & Mao, L. (2008). Characterization and stability evaluation of  $\beta$ -carotene nanoemulsions prepared by high pressure homogenization under various emulsifying conditions. *Food Research International*, 41(1), 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.09.006>
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Quintanar-Guerrero, D., Del Real, A., González-Reza, R. M., Cornejo-Villegas, M. A., & Gutiérrez-Corte, E. (2020). Effect of nano-edible coating based on beeswax solid lipid nanoparticles on strawberry's preservation. *Coatings*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/coatings10030253>
- Zhai, X., Lin, D., Li, W., & Yang, X. (2020). Improved characterization of nanofibers from

- bacterial cellulose and its potential application in fresh-cut apples. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149, 178–186.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.230>
- Zhang, L., & Hsieh, Y. Lo. (2008). Ultra-fine cellulose acetate/poly(ethylene oxide) bicomponent fibers. *Carbohydrate Polymers*, 71(2), 196–207.  
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.031>
- Zhao, L. M., Shi, L. E., Zhang, Z. L., Chen, J. M., Shi, D. D., Yang, J., & Tang, Z. X. (2011). Preparation and application of chitosan nanoparticles and nanofibers. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(3), 353–362.  
<https://doi.org/10.1590/S0104-66322011000300001>
- Zhong, J., Mohan, S. D., Bell, A., Terry, A., Mitchell, G. R., & Davis, F. J. (2018). Electrospinning of food-grade nanofibres from whey protein. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113(2017), 764–773.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.113>
- Zhou, H., Green, T. B., & Joo, Y. L. (2006). The thermal effects on electrospinning of polylactic acid melts. *Polymer*, 47(21), 7497–7505.  
<https://doi.org/10.1016/J.POLYMER.2006.08.042>

## PÁGINAS DE INTERNET

Exclusivas Frigoríficas 2019,

<https://www.exclusivasfrigorificas.com/2019/04/17/refrigeracion-de-frutas-y-verduras/>

FAO 1989, <https://www.fao.org/3/x5056s/x5056S07.htm>

FAO 2002, <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073sow.htm>

FAO 2002a, <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073sow.htm>

FAO 1993, <https://www.fao.org/3/x5062s/x5062s08.htm>

FAO 2003, <https://www.fao.org/3/y4893s/y4893s06.htm>

FAO 2022, <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/es/>

INFO ALIMENTOS 2022, <https://infoalimentos.org.ar/temas/inocuidad-de-los-alimentos/304-deshidratacion-y-desecado-dos-metodos-de-conservacion-de-alimentos->

