



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Sistemas nanoestructurados
poliméricos en la conservación de
pulpa de fruta**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

LLUVIA STEPHANIA GARCÍA COLÍN

ASESORES:

DR. RICARDO MOISÉS GONZÁLEZ REZA

DR. JOSÉ ELEAZAR AGUILAR TOALÁ

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

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARIA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

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

Sistemas nanoestructurados poliméricos en la conservación de pulpa de fruta

Que presenta la pasante: **Lluvia Stephania García Colín**

Con número de cuenta: **417106487** para obtener el título de: **Ingeniera 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
PRESIDENTE	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
VOCAL	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	
SECRETARIO	Dr. Ricardo Moisés González Reza	
1er. SUPLENTE	Dra. Claudia Idalid García Betanzos	
2do. SUPLENTE	Dra. Samantha Alejandra Real Sandoval	

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

MCVB/iava

El presente proyecto fue financiado por:

El proyecto PAPIIME 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 IN221823 "Extracción, caracterización y nanoencapsulación de compuestos bioactivos (péptidos y polifenoles) obtenidos de subproductos agroindustriales"

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”

Lluvia Sthepania García Colín, agradece el apoyo de la beca otorgada para desarrollar el tema de tesis del proyecto PAPIIME PE206421.

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

A mi mamá, Olga por su apoyo y por brindarme las mejores condiciones para que estudiara

A mi papá, por su apoyo para que pudiera estar cerca de la escuela

A mis hermanos, Karen y Diego por siempre creer en mi capacidad para lograr lo que me propongo

A Mérida, mi sobrina por motivarme a crecer y ser mejor cada día

A mi mejor amiga, Mayan, que fue un pilar importante de solidaridad, sororidad y empatía en el proceso de la tesis y durante la carrera

A mis mascotas, Vandick y Emilio por darme tantos momentos de paz cuando lo necesitaba

A Fernando Cruz, por todo el apoyo que me dio en el proceso de mis proyectos

A mis asesores, Ricardo y Eleazar por su completa disposición y su confianza en mí

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO I. PULPA DE FRUTA	6
1.1. GENERALIDADES DE LA PULPA DE FRUTA	6
1.1.1 Definición	6
1.1.2 Obtención de la pulpa	6
1.1.3 Ventajas en la conservación de fruta mediante de pulpas	7
1.1.4 Conservación	7
1.1.5 Mercado disponible y transformación en subproductos	11
1.1.6 Exportación	12
CAPITULO II. TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN A BAJAS TEMPERATURAS	13
2.1 GENERALIDADES DE LAS TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN	13
2.1.1 Operaciones unitarias a bajas temperaturas	13
2.1.2 Curva de congelación	14
2.1.3 Tipos de congelación	17
2.1.4 Aplicación de la congelación en alimentos	17
2.1.5 Equipos de congelación	18
CAPÍTULO III. NANOTECNOLOGÍA Y SUS APLICACIONES	21
3.1 Nanotecnología en la ciencia de alimentos	23
3.2 Técnicas para la formulación de nanomateriales aplicados en alimentos	24
3.2.1 Nanoprecipitación	26
3.2.2 Emulsión-difusión	28
3.2.3 Método de coacervación de emulsificación	30
3.2.4 Método de doble emulsificación	32
3.2.5 Método de recubrimiento de polímero	34
3.2.6 Método capa por capa	35
3.3 Nanopartículas poliméricas	39

3.3.1 Nanocápsulas	39
3.3.2 Nanoesferas	39
3.4 Impacto de los nanomateriales en los alimentos	40
3.5 Estudios de caso en pulpas de fruta	43
CAPÍTULO IV. NORMATIVIDAD DE LA NANOTECNOLOGÍA EN ALIMENTOS	59
4.1 Normatividad nacional	59
4.2 Normatividad internacional	62
CONCLUSIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición sugerida para la preparación de nanocápsulas por el método de nanoprecipitación.	27
Tabla 2. Composición sugerida para la preparación de nanocápsulas por el método emulsión- difusión.	29
Tabla 3. Composición sugerida para la preparación de nanocapsulas por el método de doble emulsión.	33
Tabla 4. Efecto de aplicación de distintos polímeros en frutas.	44
Tabla 5. Aplicación de nano partículas en frutas y pulpas de fruta.	49
Tabla 6. Normas mexicanas en materia de nanotecnología elaboradas por el CTNNN.	60
Tabla 7. Normatividad internacional aplicable a la nanotecnología.	63
Tabla 8. Ejemplos de tipos de regulación blanda internacional para nanotecnología	65
Tabla 9. Principales avances en materia de nanotecnología de diferentes órganos normalizadores.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Congelación de agua pura (Ibarz, & et al, 2005).	15
□ Figura 2. Congelación de un producto alimentario (Ibarz, & et al, 2005).	16
Figura 3. Barreras para la transferencia de calor y masa durante el empaquetado. Adaptado de: (Fellows, 2007).	19
Figura 4. Línea del tiempo de la evolución de la nanotecnología.	21
Figura 5. Procedimiento general de los diferentes métodos para la preparación de nanocápsulas. Adaptado de: Mora-Huertas & et al, 2010.	38
Figura 6. Nanopartículas poliméricas en alimentos (nanocápsulas y nanoesferas) Adaptada de: González-Reza & et al., 2019.	40

INTRODUCCIÓN

A diferencia de muchos materiales inorgánicos y orgánicos que son relativamente estables, los alimentos y otros materiales biológicos se descomponen y se deterioran con bastante rapidez a temperatura ambiente. Este deterioro obedece a varios factores, como la humedad, luz, crecimiento microbiano, etc. Los tejidos de los alimentos, tales como frutas y vegetales, después de la cosecha continúan teniendo respiración metabólica y maduran, llegando a pudrirse (Geankoplis, 1998). Para retardar la maduración, la congelación como método de conservación de alimentos, es una tecnología aplicada a frutas, hortalizas, productos cárnicos, del mar, preparados y lácteos, entre otros (Barreiro, 2006; Fellows, 2007). La congelación proporciona una vida útil significativamente más prolongada y se ha empleado con éxito para la conservación a largo plazo de muchos alimentos (Miyawaki, O. 2018). Dependiendo de las temperaturas finales de almacenaje, que pueden llegar hasta $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, los materiales pueden preservarse hasta por un año, aproximadamente (Geankoplis, 1998).

En contraste con lo anterior, los alimentos congelados no están en estado sólido por completo. Aunque son sólidos visiblemente, el producto es susceptible a las reacciones físicas y bioquímicas, lo cual puede poner en peligro sus cualidades organolépticas (Agoulon, 2012). Como apoyo a la conservación de estas características (sabor, olor, color y textura) se propone la utilización de nanotecnologías. En los últimos años, la nanotecnología ha sido empleada como una herramienta para la investigación, la innovación y el desarrollo a partir del control de la estructura fundamental, así como el comportamiento de la nanométrica. La nanotecnología es un concepto que indica la capacidad de trabajar en la escala de 1-100 nanómetros (nm), para comprender, crear, caracterizar y usar estructuras materiales, así como sistemas con nuevas propiedades derivadas de su pequeño tamaño. Actualmente, en el área de alimentos, a muchos productos se ha aplicado nanotecnología, ya sea para conservar sus propiedades organolépticas y la calidad del producto en general, prevenir contaminaciones microbianas o incrementar su valor agregado al adicionar sustancias que ayuden a sintetizar compuestos bioactivos de importancia en la salud (García, 2016).

El interés de esta tecnología se encuentra en el hecho de que ese pequeño tamaño conlleva a propiedades físicas y químicas que difieren significativamente de las habituales a mayor escala (OMS, 2008). Por ejemplo, los biopolímeros como recubrimientos actúan como las barreras de transferencia de masa, las películas y recubrimientos controlan los valores de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, lípidos, sabores y aromas que se transfieren de los componentes del alimento a la atmósfera. Además, los recubrimientos pueden implementarse para mejorar la apariencia de los alimentos (McHugh, 2000). La nanotecnología y los nanomateriales tienen un enorme potencial para mejorar el suministro de alimentos a través de aplicaciones novedosas, incluidos los sistemas de absorción y distribución de nutrientes, así como de compuestos bioactivos; funcionalidad del ingrediente; colores y sabores mejorados; detección y control de microbios, alérgenos y contaminantes; asimismo propiedades y rendimiento del envasado de alimentos (Magnuson & et al., 2011).

Nuestro país se caracteriza por ocupar los primeros sitios en la producción de diversos frutos a nivel mundial. México ocupa el primer lugar en producción de aguacate, segundo en limón, tercero en fresa y zarzamora, cuarto para toronja y quinto para arándano, frambuesa, guayaba, mango, naranja y papaya (Instituto Nacional de la Economía Social, 2017). Así como se producen grandes cantidades de frutas, también se desperdician toneladas de estas, siendo una alternativa su transformación en pulpa y su posterior conservación mediante los métodos mencionados (congelación y aplicación de nanotecnologías), contribuyendo a la reducción de mermas y aplicando nuevas tecnologías para la industria alimentaria.

PROBLEMA

La pulpa de fruta es uno de los elementos más utilizados en la industria, ya que se emplea para la elaboración de una gran cantidad de productos, como néctares, jugos, postres, batidos, helados, salsas, etc. Para la conservación de las pulpas, usualmente se hace mediante la congelación, dado que a menor temperatura las reacciones químicas en los alimentos se vuelven más lentas y los microorganismos que hacen posible la maduración de las frutas sufren un retraso en su actividad normal. Sin embargo, ocurre una disminución de los sabores y aromas naturales de estos elementos, y pese a que la congelación es uno de los métodos más efectivos para mantener sus valores nutricionales casi intactos, se puede recurrir a tecnologías adicionales para hacer más eficiente este proceso, como la adición de sistemas nanoestructurados poliméricos funcionalizados.

JUSTIFICACIÓN

Los avances tecnológicos en la industria alimentaria están cada vez más presentes, especialmente la nanotecnología que ofrece el desarrollo de productos con una mejor aceptación física y la conservación de alimentos durante tiempos más prolongados inactivando microorganismos y cuidando las propiedades nutricionales que son difíciles de mantener con métodos tradicionales de conservación. En el caso especial de la pulpa de fruta, esta es utilizada como materia prima para otras industrias que debe cumplir con ciertas características sensoriales y microbiológicas requeridas por un comprador para asegurar que el producto final cumpla con la calidad exigida por el consumidor. Es por esto que se propone la aplicación de nanotecnología en combinación con la congelación para potencializar la eficiencia en la conservación. La finalidad de este trabajo es que como Ingenieros en Alimentos tengamos la capacidad de resolver problemas diferentes que se enfrentan en la industria, aplicando nuevas tecnologías junto con métodos tradicionales que ofrezcan resultados innovadores y positivos. Incentivando además la competitividad de las industrias en México.

OBJETIVOS

Objetivo general

Establecer el impacto y el avance de la utilización de sistemas nanoestructurados poliméricos funcionalizados en la conservación de pulpas de frutas mediante el análisis de información bibliográfica y hemerográfica en el área de la ciencia de los alimentos.

Objetivos particulares

1. Realizar la descripción de las características principales de sistemas nanoestructurados tomando en consideración los criterios para su uso en alimentos.
2. Analizar información publicada en revistas indizadas sobre la aplicación de sistemas nanoestructurados poliméricos en pulpas de fruta y su efecto en el incremento de vida útil.
3. Analizar el estado del arte en cuanto a la legislación vigente de sistemas nanoestructurados en su utilización en el procesamiento de alimentos.

CAPÍTULO I. PULPA DE FRUTA

1.1. GENERALIDADES DE LA PULPA DE FRUTA

1.1.1 Definición

La Norma Oficial Mexicana, NOM-173-SE-2021, define a la pulpa de vegetales o fruta como una masa carnosa y a menudo jugosa de los vegetales o frutas u hortalizas (sólidos insolubles y solubles y que pueden sedimentar). En el caso de las frutas cítricas, la pulpa está formada por un considerable número de gajos llenos de jugo.

La pulpa de fruta concentrada se obtiene por la desintegración y tamizado de la fracción comestible de la fruta sana, madura y limpia. No se altera el color, el sabor ni la textura de la fruta original. Las pulpas se caracterizan por poseer una variada gama de compuestos nutricionales que les confieren un atractivo especial a los consumidores. Están compuestas de agua en un 70 a 95%, pero su mayor atractivo desde el punto de vista nutricional es su aporte a la dieta de principalmente vitaminas, minerales, enzimas y carbohidratos como la fibra (Barrenechea, 2017).

Las pulpas, además, contienen escaso contenido de grasa y bajo contenido en proteínas. El principal componente de las frutas es el agua, como se mencionó anteriormente. Los productos más perecederos son los que tienen mayor contenido hídrico como los frutos carnosos (durazno, sandía, fresa). Uno de los componentes más importantes es el agua, debido a que es el medio para que se lleven a cabo muchas reacciones químicas y enzimáticas, además, el agua tiene una fuerte influencia en la frescura del fruto, ya que contribuye con la turgencia que es el estado de rigidez de las células vivas (Iriarte, 2019).

1.1.2 Obtención de la pulpa

La pulpa de fruta se extrae directamente de la fruta fresca mediante máquinas peladoras y despulpadoras que separan las cáscaras y semillas del producto final que ha sido

previamente escogido, pesado, lavado y desinfectado. Se obtiene un producto comestible y nutritivo (Arauco, 2018)

1.1.3 Ventajas en la conservación de fruta mediante de pulpas

- Permite conservar el aroma, el color y el sabor de las frutas.
- Las características nutritivas en el proceso de congelación varían en menor escala con respecto a otros sistemas de conservación, lo que permite preservar la fruta hasta un año.
- Ésta se considera la materia prima base en cualquier producto que necesite fruta. (Mermelada, néctar, jugos concentrados).
- Las pulpas actúan como reguladores de los suministros de fruta, porque se procesan en las épocas de cosecha para utilizarlas cuando haya poca disponibilidad (Barrenechea, 2017).

1.1.4 Conservación

El hombre, desde tiempos remotos, ha utilizado métodos específicos para prolongar la vida de sus alimentos por mucho más tiempo, logrando así conservarlos para su consumo en épocas de mayores escases, así como para trasladar el alimento a lugares con carencia de estos y que sean entregados en las mejores condiciones. Aunado a esto, han surgido técnicas que van de la mano de las tecnologías existentes, por lo que se desarrollaron técnicas tradicionales de conservación de los alimentos, cuya finalidad es la inactivación enzimática y de microorganismos alterantes y patógenos (Madrid, 2010).

Ejemplos de estas son los métodos de conservación física, como:

- **Escaldado:** Es un tratamiento térmico generalmente utilizado previo al secado, liofilización, congelación, fritura y pelado de algunas frutas y verduras. Comúnmente, comprende temperaturas entre 70-100 °C y tiempos entre 1 y menos de 10 minutos y luego un enfriamiento rápido por ducha, inmersión o aire (Xiao & et al., 2017). Su principal objetivo es inactivar las enzimas responsables de las

reacciones de deterioro que contribuyen a los sabores, olores y colores desagradables, adicional a ello, ocasionan una textura indeseable y contribuyen a la descomposición de nutrientes (Xiao et al., 2017).

El escaldado como pretratamiento en diversos procesos de transformación alimentaria en productos de consumo masivo ha demostrado ser eficaz tanto para garantizar la inocuidad como para mantener o incrementar los compuestos bioactivos (Tigreros, 2021).

Los alimentos, al ser sometidas a procesos como el escaldado, la calidad nutricional y sensorial pueden verse gravemente afectadas, debido a que la disponibilidad de compuestos bioactivos se reduce, ya que estas sustancias son termolábiles, es decir, sufren cambios por el contacto con el calor (Tigreros, 2021).

- **Pasteurización:** Conduce a una destrucción selectiva de la flora microbiana presente en el alimento, ya que es un tratamiento térmico que; generalmente, se práctica a temperaturas menores a los 100°C, entre 65°C y 75°C, por un tiempo de 20 a 30 minutos, dejándolo enfriar rápidamente (dependiendo del tipo de líquido). Tiene como objetivo destruir los gérmenes patógenos y un alto porcentaje de la flora microbiana manteniendo la estructura, composición y características sensoriales de los alimentos, y posteriormente deben ser conservados bajo condiciones de frío. En zumos de frutas, comúnmente el tratamiento consiste en la aplicación de temperaturas a 72°C durante 15 o 20 segundos, seguido de un enfriado rápido a 4°C. Los factores que se deben tener en cuenta para realizar este proceso son el tiempo y temperatura. Un exceso en la temperatura produce olores y sabores desagradables en el producto final (Ramírez, 2013).
- **Congelación:** Proceso que inicia con enfriamiento hasta alcanzar temperaturas de - 18 a - 20°C la cual debe mantenerse durante el tiempo de almacenamiento, este método extrae el calor del producto. Debe ser un congelamiento rápido para evitar que los cristales de hielo se formen lentamente, lo que produciría cristales relativamente grandes, afectando la apariencia de la pulpa y la textura después del congelado. (Chacón, 2006)

El objetivo de este es interrumpir completamente el crecimiento y la actividad microbiológica, es decir, estabiliza microbiológicamente el alimento (Iriarte, 2019). Las empresas agroindustriales que procesan néctar, jugos y otros productos a partir de frutas tropicales utilizan la congelación de la pulpa como un método de conservación. La mayoría de estas empresas no realizan estudios sobre los efectos que podría causar la temperatura de congelación sobre las características de calidad de la pulpa por efecto del frío (Gomez & et. al., 2012).

- **Deshidratación:** Es un proceso de conservación, el cual permite obtener un alimento en estado sólido con un contenido inferior al 15% en agua. Esta técnica se realiza por atomización, secado en rodillos, secado al vacío en bandejas o en cámaras de sacado por aire caliente (Iriarte, 2019).

Con bajas temperaturas, las técnicas de deshidratación que utilizan son de tipo estático y emplean aire forzado o estufas a vacío. Además, se emplean sistemas de deshidratación por contacto directo, así como equipos de rodillos que utilizan altas temperaturas y funcionan de manera continua. Por lo cual, este procedimiento afecta en gran medida el contenido nutricional y las características organolépticas y funcionales de las pulpas (Caparino *et al.*, 2012).

Además de estos métodos más tradicionales, se suman a la lista método de conservación física modernos como lo son:

- **Irradiación:** Es un tratamiento aplicado mediante energía gamma, el cual consiste en exponer los alimentos a una cantidad controlada de radiación ionizante durante un determinado tiempo, ya sean alimentos envasados o a granel, con ciertos objetivos específicos como puede ser el inhibir el crecimiento de bacterias o para alterar los rangos de maduración y así obtener un tiempo más prolongado de la vida de anaquel (Gómez, 2009).

- **Campos Magnéticos:** Consiste en la aplicación de campos magnéticos oscilantes con un flujo de 5-50 T y frecuencia de 5-500kHz. Es aplicable a todos los alimentos y muy en especial a los envasados de alimentos sólidos (Iriarte, 2019).
- **Pasteurización mediante microondas:** Las microondas son ondas de radiación electromagnética no ionizante cuya frecuencia (300MHz y 300GHz) se sitúa entre la de los rayos infrarrojos y la de las ondas de radio y televisión. Los alimentos expuestos a un campo electromagnético se calientan al absorber parte de la radiación emitida y transformarla en energía térmica (Tinico, 2015).
- **Pulsos eléctricos:** El tratamiento por campos eléctricos pulsantes involucra la aplicación de pulsos de alto voltaje por periodos cortos de tiempo (menos de 1 segundo) a alimentos líquidos (como jugos de frutas y hortalizas) colocados entre dos electrodos. Este proceso tiene como objetivo, lograr un efecto antimicrobiano el cual se genera a través de la destrucción o alteración de la pared celular, cuando se aplica una intensidad de campo eléctrico, que da lugar a una diferencia de potencial entre ambos lados de la membrana (potencial transmembrana). Cuando esta diferencia de potencial alcanza un valor crítico determinado, que varía en función del tipo de microorganismo, provoca la formación de poros irreversibles en la membrana celular (electroporación), y en consecuencia la pérdida de su integridad, el incremento de la permeabilidad y finalmente, la destrucción de la célula afectada. (Wilches, 2015).
- **Homogenización por Presión Ultra-Alta:** Se basa en hacer pasar el alimento (pulpa) a través de una válvula y en la resistencia que permite obtener presiones muy elevadas (hasta 4000 bares en los equipos más modernos). El efecto combinado de la presión elevada junto a la fricción y otras fuerzas físicas provoca la inactivación de los microorganismos que contaminan el alimento a la vez que también se ven afectadas enzimas, propias o ajenas al alimento, que pueden causar su alteración (Iriarte, 2019).

- **Calentamiento Óhmico:** Es una tecnología emergente la cual se basa en la aplicación de energía eléctrica mediante electrodos, en la cual, una corriente eléctrica pasa a través de los alimentos, estos se calientan debido a su resistencia eléctrica interna. Mediante este método los productos sufren un mínimo daño estructural, conservando su valor nutricional y sensorial por lo que facilita productos de excelente calidad, elaborada en un tiempo mínimo (Shaju, 2021)
- **Cocción al Vacío:** Se trata simplemente de extraer el aire contenido en el producto y cerrar la bolsa por soldadura térmica. Implica una cocción (entre 55°C y 98°C) por un periodo largo de tiempo y sin la presencia del oxígeno en contacto con los productos. Esto se logra envasando los productos sin aire en envases termo resistentes. Este método evita la pérdida de sabores debido a la oxidación (Zurita, 2011).
- **Luz Pulsada:** Método de tratamiento no térmico, el cual, aplica destellos intensos de luz blanca y de radiación no ionizante sobre un alimento. Cumple un efecto letal sobre todos los microorganismos presentes en el alimento, además, el tiempo de exposición es bajo y por ende hay menor alteración química y sensorial del producto (Iriarte, 2019).
- **Altas Presiones Hidrostáticas:** Se utilizan presiones por encima de aproximadamente 100MPa, debido a la inactivación de bacterias que se ha demostrado en distintos estudios, es estos además se ha demostrado que por ende se extiende la calidad de conservación de alimentos como la fruta (Velasco, 2020).

1.1.5 Mercado disponible y transformación en subproductos

La pulpa de fruta es uno de los elementos más utilizados en el mundo, puede ser utilizada como materia prima en la elaboración de néctares, jugos, cócteles, salsas, helados y refrescos.

La pulpa de fruta tiene principalmente tres tipos de clientes:

- Consumidores Finales: Amas de casa que utilizan la pulpa de fruta para la preparación de jugos, batidos, smoothies, postres, helados, salsas etc.
- Clientes Institucionales: Empresas que utilizan la pulpa de fruta como materia prima para preparación de bebidas, postres o cualquier receta que utilice fruta. Dentro de esta categoría encontramos los restaurantes, banqueteros, hoteles, clubes sociales, bares, empresas de servicios de alimentación que a su vez atienden hospitales, colegios, universidades, etc.
- Clientes Industriales: Empresas que utilizan las pulpas de fruta para fabricación de jugos, refrescos, helados, yogures, mermeladas etc., a nivel industrial.

Por su versatilidad y comodidad, la pulpa de fruta es ideal para heladerías, restaurantes, loncherías, comedores industriales, etcétera (QuimiNet, 2009).

1.1.6 Exportación

Marcas Mexicanas como Pulpissimo, Benefrut, F-Díaz y FMC Pulpas, son empresas con entre 14 y 32 años en el mercado, dedicadas a la distribución de pulpas de frutas, que tienen en común la distribución de frutas como la fresa, mango y Piña.

Según el Panorama Agroalimentario 2022, el mango tuvo una producción de 2,156,000 toneladas en el año 2021, de las cuales el 22.51% se destinó a exportaciones. La producción de la fresa fue de 542,891 toneladas, destinando el 65.6% a exportaciones y de piña la producción fue de 1,271,521 toneladas, siendo el 4.6% para exportación como frutas enteras.

Estas frutas son un pequeño ejemplo, sin embargo, la gran diversidad de frutas cosechadas en México, así como la demanda de estas hacia otros países, los hace productos viables para su transformación y comercialización en distintas presentaciones como la pulpa, extendiendo el tiempo de vida de estas y su aprovechamiento.

CAPITULO II. TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN A BAJAS TEMPERATURAS

2.1 GENERALIDADES DE LAS TECNOLOGÍAS DE CONSERVACIÓN

Uno de los objetivos primordiales de las industrias alimentarias es realizar una serie de operaciones sobre las materias primas agrícolas, que las convierta en alimentos aptos para el consumo humano. Estas operaciones se realizan de tal modo que cambian su composición y/o su nivel energético. Para realizar estas transformaciones se utilizan distintos equipos, en las diferentes etapas de procesado, siendo imprescindible que cada una de estas etapas esté bien diseñada para que el producto sufra el mínimo de deterioro. El cálculo y diseño eficiente de cada una de estas etapas es el fin primordial de la Ingeniería Alimentaria, y en la que cada una de las etapas de proceso recibe el nombre de Operación Unitaria o Básica (Ibarz & et al, 2005).

Uno de los procesos más utilizados en la conservación de alimentos es la congelación. Esto es debido a dos factores fundamentales, uno es que muchos microorganismos no pueden crecer a las bajas temperaturas utilizadas en la congelación. Además, cuando un alimento se congela, parte del agua se transforma en hielo, por lo que la actividad de agua del alimento desciende. Este descenso de la actividad de agua influye en el crecimiento de muchos microorganismos, y hace que no se pueda desarrollar en condiciones de actividad de agua más baja (Ibarz & et al, 2005).

2.1.1 Operaciones unitarias a bajas temperaturas

La refrigeración se puede definir como el proceso en el que se elimina calor de un material que se encuentra a una temperatura superior que la de su alrededor. De modo general, la refrigeración es el término que se utiliza para denominar el almacenamiento de los alimentos a temperaturas por debajo de 15°C y por encima del punto de congelación.

La congelación se define como la operación unitaria en la que la temperatura del alimento se reduce por debajo de su punto de congelación, con el que una porción elevada del agua que contiene cambia de estado formando cristales de hielo (Fellows, 2007).

La congelación 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. La congelación es un medio excelente para mantener casi inalteradas durante un tiempo prolongado las características originales de los alimentos perecederos. Este tipo de conservación radica en la disminución de la temperatura, generalmente entre -20°C a -30°C , lo cual permite que las reacciones bioquímicas sean más lentas y además inhibe la actividad microbiana, generando el estado de latencia de ésta (Fellows, 2007).

2.1.2 Curva de congelación

En la congelación de alimentos es importante conocer cómo varía la temperatura del alimento a lo largo del proceso de congelación. De todos es conocido como varía la temperatura del agua pura con el tiempo cuando se congela (Figura 1). La temperatura de congelación del agua es 0°C , por lo que, si se parte de agua a una temperatura superior, inicialmente existe un descenso por debajo de 0°C . Es decir, existe un subenfriamiento por lo que posteriormente, y debido al inicio de la formación de hielo, se desprende el calor de fusión, con lo que la temperatura alcanza de nuevo los 0°C . En este punto la temperatura permanece constante hasta que toda el agua se ha convertido en hielo, punto en el que la temperatura desciende de nuevo, con una pendiente mayor, ya que la conductividad térmica del hielo es superior a la del agua líquida.

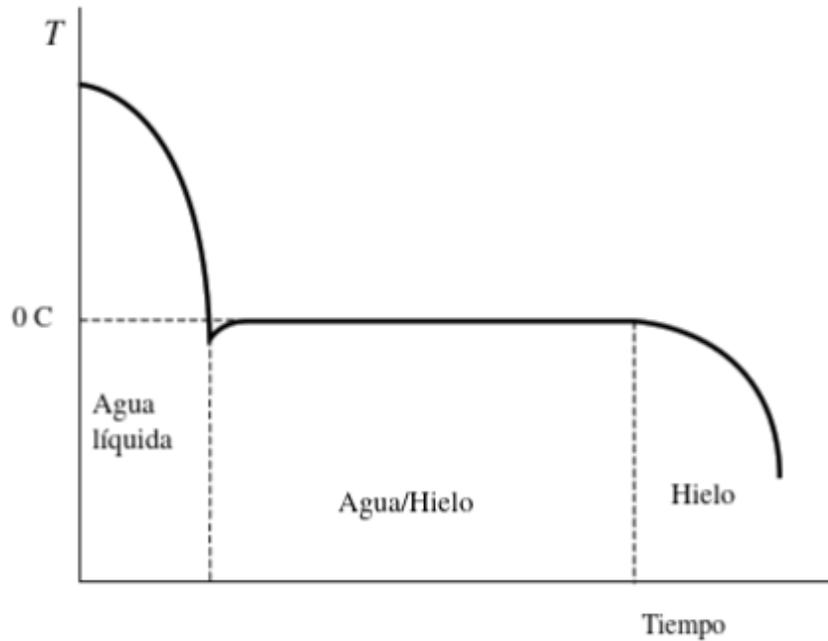


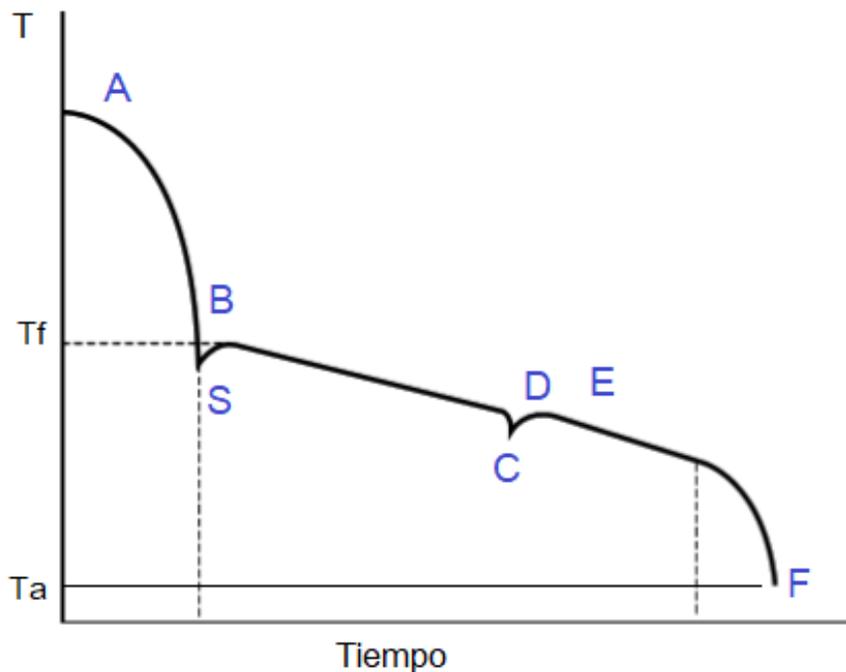
Figura 1. Congelación de agua pura (Ibarz, & et al, 2005).

En los alimentos, este proceso es distinto al del agua pura hay mayor variación en los picos de temperatura (Figura 2):

- **A-S:** El alimento se enfría por debajo de su punto de congelación siempre inferior a 0°C (temperatura de congelación del agua igual a 0°C). En el punto S, en el que el agua se encuentra a una temperatura inferior al punto de congelación, ésta se encuentra todavía en estado líquido. A este fenómeno se le conoce como enfriamiento, el cual se puede producir hasta 10°C por debajo del punto de congelación.
- **S-B:** La temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación, ya que al formarse los cristales de hielo se libera el calor latente de congelación a una velocidad superior a la que este se extrae del alimento.
- **B-C:** El calor se elimina a la misma velocidad que en las fases anteriores. Se elimina el calor latente con la formación del hielo, pero la temperatura permanece casi constante. El incremento de la concentración de solutos en la fracción de agua no

congelada provoca un descenso en el punto de congelación y la temperatura desciende ligeramente. En esta fase es en la que se forma la mayor parte del hielo.

- **C-D:** Uno de los solutos alcanza la sobresaturación y cristaliza. La liberación del calor latente de cristalización provoca un aumento de la temperatura hasta la temperatura eutéctica del soluto.
- **D-E:** La cristalización del agua y los solutos continúa. El tiempo total (meseta de congelación) está determinado por la velocidad a la que el calor se extrae.
- **E-F:** La temperatura de la mezcla de agua y hielo desciende hasta alcanzar la del medio (Fellows, 2007).



- **Figura 2.** Congelación de un producto alimentario (Ibarz, & et al, 2005).

El punto de congelación de un alimento puede ser descrito como “temperatura a la cual un diminuto cristal de hielo está en equilibrio con el agua circundante”. Antes de que un

crystal de hielo se forme, debe estar presente un núcleo de moléculas de agua. Por lo tanto, la nucleación precede a formación de cristales. Hay dos tipos de nucleación: Nucleación homogénea (la orientación aleatoria y combinación de moléculas de agua) y la nucleación heterogénea (la formación de un núcleo alrededor de partículas suspendidas en una pared celular). Es más probable que ocurra una nucleación heterogénea en los alimentos y tiene lugar durante el subenfriamiento. La duración del periodo de sobre enfriamiento depende del tipo de alimentos y la velocidad a la que se elimina el calor (Fellows, 2007).

2.1.3 Tipos de congelación

La congelación de los alimentos puede realizarse de distintos modos, y dependiendo de ello, la capacidad del alimento congelado variará.

- Congelación instantánea (rápida): se logra que existan muchos puntos del alimento donde empieza la formación de hielo; es decir, existe una gran nucleación, y los cristales de hielo que se forman son de tamaño pequeño, por lo que los tejidos del alimento quedarán poco afectados.

- Congelación lenta: existe poca nucleación, y los pocos cristales de hielo formados irán creciendo con el tiempo. Esto acarrea el que se formen cristales de gran tamaño que pueden afectar la calidad del producto final del producto congelado (Ibarz, & et al, 2005).

2.1.4 Aplicación de la congelación en alimentos

El mayor grupo de alimentos congelados comercialmente son los siguientes:

- ✓ Frutas (fresas, naranjas, zarzamoras, mora azul) ya sea entero, en pure o como concentrado de jugo.
- ✓ Vegetales (chicharos, ejotes, maíz dulce, espinacas y papas).
- ✓ Filetes de pescado y comida marina (bacalao, camarón y carne de cangrejo)
- ✓ Carne (res, cordero, ave de corral) así como cadáveres de estos.
- ✓ Productos horneados (pan, pasteles, tartas de frutas y carne).

- ✓ Alimentos preparados (pizza, postres, helado, comidas completas y guisados cocinados-congelados).

2.1.5 Equipos de congelación

La selección del equipo de congelación debe tener en cuenta los siguientes factores: la velocidad de congelación requerida; el tamaño, la forma y los requisitos de envasado de los alimentos; operación por lotes o continua, la escala de producción, la gama de productos a procesar y no menos importante los costos de capital y operativos.

Los congeladores se clasifican ampliamente en:

- Refrigeradores mecánicos, que evaporan y comprimen un refrigerante en un ciclo continuo y usan aire frío, líquido o superficies enfriados para eliminar el calor de los alimentos
- Congeladores criogénicos, que utilizan dióxido de carbono sólido o líquido, nitrógeno líquido directamente en contacto con los alimentos.

Una clasificación alternativa, basada en la velocidad de movimiento del frente de hielo es:

- Congeladores lentos y congeladores puntiagudos (0.2 cm/h), incluidos congeladores de aire quieto y cámaras frigoríficas
- Congeladores rápidos (0.5–3 cm/h), incluidos congeladores de placa y de chorro de aire
- Congeladores rápidos (5–10 cm/h) incluidos congeladores de lecho fluidizado
- Congeladores ultrarrápidos (10–100 cm/h), es decir, congeladores criogénicos.

Todos los congeladores están aislados con poliestireno expandido, poliuretano u otros materiales que tienen baja conductividad térmica.

En los congeladores de aire forzado, el aire se recircula por los alimentos entre -30°C y -40°C a una velocidad de 1.5 a 6 m/s. La alta velocidad del aire reduce el espesor de las películas límite que rodean al alimento y por lo tanto, aumenta el coeficiente de transferencia de calor de la superficie (Figura 3).

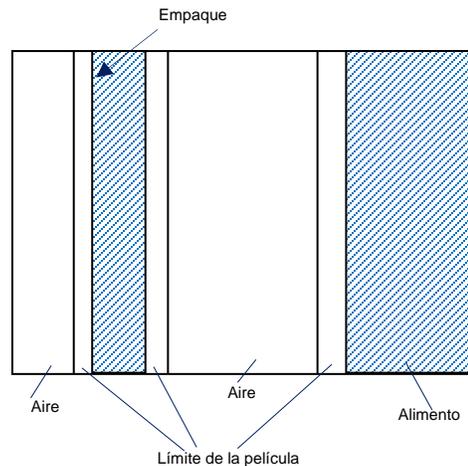


Figura 3. Barreras para la transferencia de calor y masa durante el empaquetado.

Adaptado de: (Fellows, 2007).

En el equipo por lotes, los alimentos se apilan en bandejas o gabinetes (Fellows, 2007). Las secciones de congelador de aire forzado y lecho fluidizado están alojadas, junto con el ventilador y el evaporador, dentro de una cámara aislada. Las puertas de acceso a ambas secciones llevan incorporadas ventanas de observación y perímetros eléctricamente calentados para evitar que las puertas se congelen cuando están cerradas. Dentro de la cámara, un ventilador con impulsor ajustable transporta aire desde el interior de la cámara a los conductos del congelador y a través del banco de tubos del evaporador, donde transfiere calor al refrigerante.

El aire, ahora con temperatura reducida, pasa a través de la sección de bandejas, que puede ser observada a través de un panel de metacrilato retirable. Luego cambia de dirección y pasa verticalmente por la sección de lecho fluidizado, vuelve a la cámara y es circulado de nuevo por el ventilador. La sección de congelador de aire forzado contiene 5 bandejas sobre las cuales se colocan las muestras de alimento a congelar.

Está equipado para pasar cables de sensor de termopar a los conductos y a través de la pared de la cámara, con objeto de poder monitorizar desde fuera la temperatura y la velocidad de la congelación. También es posible insertar un anemómetro adecuado en los conductos para medir la velocidad del aire. El compresor que suministra el refrigerante al evaporador está ubicado externamente en el mismo bastidor que la cámara, al igual que el sistema de control. El caudal del aire es variado desde fuera mediante un sistema de control de tiro, y la temperatura del aire es establecida usando un controlador basado en microprocesador (Tecnología Educativa, 2002).

CAPÍTULO III. NANOTECNOLOGÍA Y SUS APLICACIONES

El concepto de nanotecnología había sido introducido por Richard Feynman (1959); posteriormente, en 1974, Norio Taniguchi acuñó el término nanotecnología y lo utilizó para manipular el tamaño de partículas menores de 1 μm (Prakash, & et al. 2018). Con el paso de los años, la nanotecnología ha sido aplicada en distintas áreas y el aumento del interés por esta ha sido evidente (Figura 4).

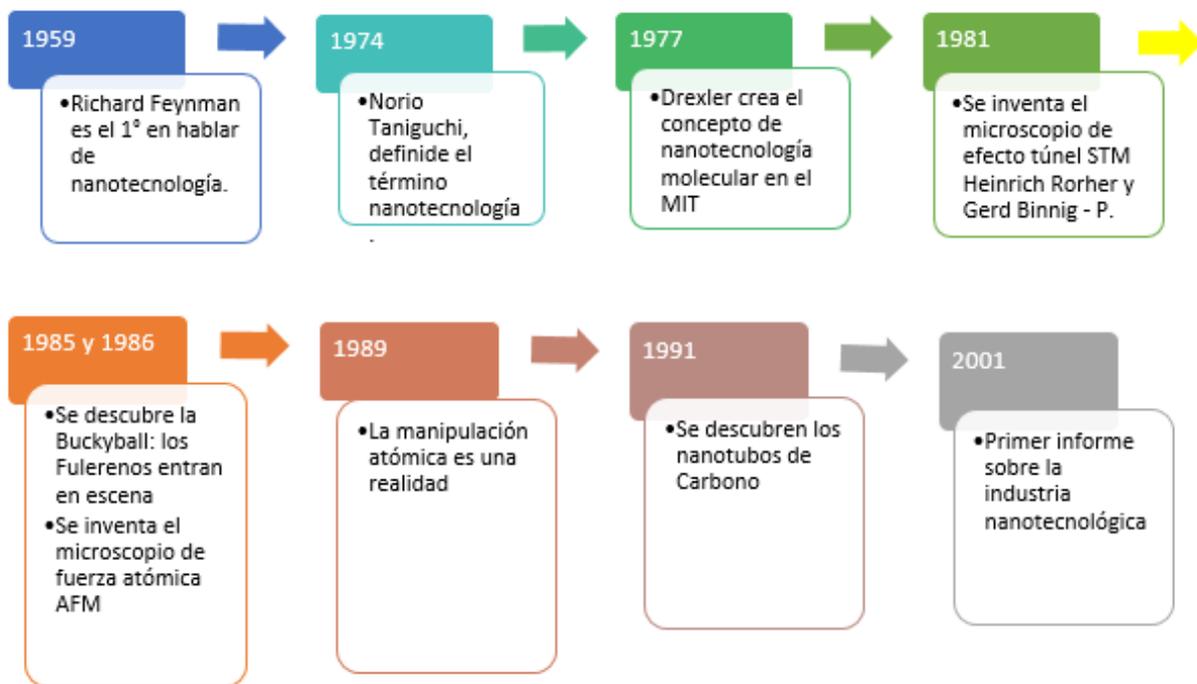


Figura 4. Línea del tiempo de la evolución de la nanotecnología.

La nanotecnología implica investigación, desarrollo tecnológico y control de estructuras con tamaños de 1 a 100 nm. Hoy en día, la nanotecnología se aplica a la creación de estructuras con propiedades especiales que dependen en gran medida del tamaño y la estructura, como el confinamiento cuántico en partículas semiconductoras, la resonancia de plasmón superficial en algunas partículas metálicas y el superparamagnetismo en materiales magnéticos (Uskoković, 2007).

La reducción del tamaño de las partículas aumenta la relación superficie-volumen, lo que mejora su reactividad y ofrece características únicas y novedosas (Quintanilla-Carvajal, M., 2010). Reducir el tamaño de un material por debajo de cierto límite da como resultado la aparición de propiedades nuevas o diferentes del material debido a:

- ✚ Partículas cristalinas inherentes que se acercan al tamaño de las longitudes físicas características de las propiedades relevantes
- ✚ Un aumento en la proporción de defectos de interfaz y su impacto en las propiedades dependientes
- ✚ La aparición de nuevas propiedades estructurales que caracterizan los límites de partícula del material (Uskoković, 2007; Andrievski, 2001).

Por ejemplo, un material compuesto por partículas cristalinas esféricas de 3 nm de diámetro encuentra aproximadamente la mitad de sus átomos colocados en las superficies de las partículas, lo que implica una reactividad más pronunciada del sistema. Sin embargo, una disminución en el tamaño de partícula, equivalente a un aumento en la superficie específica del sistema, indica no solo una mayor reactividad sino también que las propiedades físicas ya no están dominadas por la física de la materia.

Dado que las disciplinas específicas dentro de la ciencia de los materiales normalmente se dividen en función de las propiedades de los materiales a granel, la comprensión de la transición de macro a nano ofrece la oportunidad de cerrar las brechas impuestas y crear un nuevo campo multidisciplinario de nanociencia (Uskoković, 2007; Wautelet, 2001).

Las propiedades físicas como la conductividad eléctrica, la microdureza, la coercitividad y la permitividad disminuyen en proporción al tamaño medio de partícula de un material. Sin embargo, en el caso de la coercitividad versus la dependencia del tamaño de partícula, dos efectos se superponen: uno válido para materiales a granel y el otro que aparece cuando los tamaños de partícula se acercan a los tamaños de los dominios magnéticos. En el primer caso, la coercitividad es inversamente proporcional al tamaño de partícula; en el último caso, la función $H_c = f(D^6)$ coincide con las dependencias experimentales que dan como resultado la aparición de un máximo en el punto de coherencia. Además, dado

que la falla mecánica de un material con frecuencia ocurre a través de procesos de migración de grietas a lo largo de las interfaces de las partículas, el hecho de que los materiales con partículas nanométricas (hasta 10 nm) sean más fuertes en comparación con sus contrapartes a granel implica modificaciones significativas de los mecanismos de resistencia y tenacidad como un resultado de la transición de volumen a nanoescala (Uskoković, V. 2007; Edelstein A., 1997).

Al disminuir el tamaño del cuerpo físico hasta ciertos límites, las influencias cohesivas de las fuerzas gravitacionales dan lugar a las fuerzas electromagnéticas en forma de función Morse y los efectos cuánticos que surgen de las propiedades electrónicas (Wautelet, 2001). Se ha observado que las sustancias insolubles se vuelven solubles o que los compuestos aislantes se vuelven conductores cuando sus partículas constitutivas se reducen a un tamaño nanométrico (Uskoković, V. 2007).

3.1 Nanotecnología en la ciencia de alimentos

La nanotecnología en la ciencia de los alimentos hace referencia a determinadas disciplinas emergentes que han presentado grandes avances en los últimos años debido a las atractivas propiedades que poseen varios materiales relacionados con la alimentación a nanoescala. Comprender los principios básicos de tales propiedades es la base para construir una base de conocimiento sólida para desarrollar productos con características mejoradas y novedosas (González-Reza & et al., 2019; Hernández-Sánchez and Gutiérrez-López 2015).

La comunidad científica y la industria alimentaria han identificado los usos potenciales de la nanotecnología en la agricultura (como, suministro de pesticidas y fertilizantes), en el procesamiento de alimentos (en la encapsulación de compuestos como potenciadores del sabor u olor; modificadores de textura, etc.), en el envasado de alimentos (añadiendo sensores de patógenos, protección UV y películas poliméricas con mayor rigidez e impermeabilidad), hasta suplementos nutricionales (nutracéuticos con mayor estabilidad y biodisponibilidad) (González-Reza & et al., 2019; Duncan, 2011).

Los alimentos en los que se ha utilizado una técnica o herramienta nanotecnológica o en los que se han agregado nanomateriales manufacturados, es decir, cualquier material que se haya producido intencionalmente a escala nanométrica para tener propiedades específicas o composiciones específicas, se denominan nanoalimentos (González-Reza & et al., 2019; Rai & et al. 2015). Las posibles aplicaciones de la nanotecnología en alimentos funcionales y el diseño de suplementos nutricionales y nutraceuticos que contienen sistemas nanométricos y aditivos como vitaminas, antimicrobianos, antioxidantes y conservantes están disponibles actualmente para mejorar el sabor, la absorción y la biodisponibilidad (González-Reza & et al., 2019; Pathakoti & et al. 2017). Se han desarrollado diferentes sistemas de tamaño nanométrico con el fin de mejorar las propiedades de determinadas sustancias, entre las que podemos mencionar nanoemulsiones, portadores de nanolípidos, nanopartículas poliméricas, etc. Estas últimas han despertado un gran interés en la nanoencapsulación de agentes bioactivos.

3.2 Técnicas para la formulación de nanomateriales aplicados en alimentos

En general, existen dos categorías para la formulación de la nanoestructura de diferentes materiales, técnicas de “Top Down” y “Bottom Up”. La técnica de Top Down, se ocupa de los compuestos de rango nanométrico producidos a partir de materiales de mayor tamaño, mientras que en el caso de las técnicas de Bottom Up, el material de rango de tamaño nanométrico podría formarse mediante el autoensamblaje de átomo por átomo, molécula por molécula o átomos y moléculas depende de sus propiedades naturales (Quintanilla-Carvajal, M., 2010).

En la trayectoria general de investigación y desarrollo (por sus siglas en ingles “R&D”) "ascendente" que conduce a los futuros diseños y aplicaciones de las nanotecnologías, se pueden definir dos vías generales. El primero es un enfoque de tecnología duro, que se refiere al uso de aparatos masivos y complejos para inducir manipulaciones átomo por átomo o molécula por molécula, y organizar bloques de construcción relativamente simples en resultados nanoestructurales aplicables (Uskoković, V. 2007; Feynman R., 1959). El segundo es el enfoque de tecnología blando, que incluye el diseño de bloques de construcción complejos mediante el auto ensamblaje a través de la realización de

manipulaciones en una escala macroscópica (Uskoković, V. 2007; Tirrell, 2005). Este enfoque utiliza equipos relativamente económicos y de fácil acceso que podrían, contrariamente al enfoque de tecnología dura, inducir naturalmente la descentralización del poder y la proliferación sostenible de conocimientos prácticos (Uskoković, V. 2007; Hassan Z, 1984). El enfoque de tecnología dura para el diseño de nanoproductos generalmente ignora los límites y vías naturales, e impone propósitos antropocéntricos sobre sustratos naturales.

Sin embargo, el enfoque de tecnología blanda también carece de la capacidad de organizar conscientemente bloques de construcción sintetizados en dispositivos funcionales procesados. Sin embargo, el optimismo continúa floreciendo con respecto a las posibilidades del enfoque de mecanizado molecular para el nanodiseño (Uskoković, V. 2007; Foresight Institute) y el potencial de auto organizar estructuras relativamente grandes y complejas en resultados estructurados jerárquicamente (Uskoković, V. 2007; Whitesides G., 2002).

Las nanopartículas poliméricas (por sus siglas en inglés, PNP) han tenido un impacto importante en la última década, debido a sus propiedades y comportamientos únicos proporcionados por su tamaño característico. Pueden prepararse mediante métodos de polimerización y síntesis con polímeros preformados. Su tamaño es una de sus características fundamentales, que generalmente se considera que ronda los 5-10 nm con un límite de tamaño mayor de ~ 1000 nm, aunque el rango generalmente obtenido es de 100-500 nm (González-Reza & et al., 2019; Crucho y Barros 2017). Diversas investigaciones revelan que los materiales nanoestructurados presentan un gran potencial en una amplia gama de aplicaciones, destacando la transferencia de sustancias bioactivas de interés en la ciencia de los alimentos. Las ventajas de la PNP como portadores de sustancias bioactivas incluyen la liberación controlada, la protección de las moléculas del agente encapsulado y su orientación específica (González-Reza & et al., 2019; Crucho y Barros 2017).

Las nanopartículas poliméricas han sido ampliamente estudiadas como portadoras de sustancias activas en diferentes campos del conocimiento, destacando la industria

farmacéutica y recientemente la industria alimentaria. Investigaciones recientes han presentado información clara sobre los mecanismos de formación de nanopartículas, su clasificación y métodos de preparación (incluidas las condiciones óptimas de procesamiento) con diversas aplicaciones en el campo de la alimentación (Figura 5).

Los nanopartículas poliméricas se utilizan ampliamente como biomateriales debido a sus características en términos de procesamiento y diseño simples, buena biocompatibilidad, una amplia variedad de estructuras y características bioimitativas notables (González-Reza & et al., 2019; El-Say y El-Sawy 2017).

3.2.1 Nanoprecipitación

Este método también es denominado deposición interfacial o desplazamiento de disolvente. La síntesis de nanocápsulas necesita fases tanto solventes como no solventes Según Fessi & et al. (1988); Mora-Huertas & et al (2010). La fase continua que esencialmente consiste en una solución en un disolvente o en una mezcla de disolventes (es decir, etanol, acetona, hexano, cloruro de metileno o dioxano) de una sustancia formadora de película, como un polímero (polímero sintético, semisintético o natural), la sustancia activa, el aceite, un tensoactivo lipófilo y un disolvente de sustancia activa o disolvente de aceite si se necesitan.

Por otra parte, la fase no disolvente consiste en un no disolvente o una mezcla de no disolventes para la sustancia formadora de película, complementada con uno o varios tensoactivos naturales o sintéticos. En general y la mayoría de las veces, las fases disolvente y no disolvente son llamadas fases orgánica y acuosa, respectivamente. Como tendencia general, el disolvente es un medio orgánico, mientras que el no disolvente es principalmente agua. Sin embargo, es posible utilizar dos fases orgánicas o dos fases acuosas siempre que se satisfagan las condiciones de solubilidad, insolubilidad y miscibilidad. En la Tabla 1, utilizando el método de nanoprecipitación, se muestra una base de composición para la preparación de nanocápsulas de 150-200 nm a escala de laboratorio.

Tabla 1. Composición sugerida para la preparación de nanocápsulas por el método de nanoprecipitación. Adaptada de Mora-Huertas & et al, 2010.

Material	Composición sugerida
Sustancia Activa	10 - 25 mg
Polímero	0.2 - 0.5 % de solvente
Aceite	1.0 - 5.0 % de solvente
Surfactante agua/aceite	0.2 - 0.5 % de solvente
Solvente	25 ml
Agente estabilizante	0.2 - 0.5 % de solvente
No solvente	50 mL

Los polímeros más comúnmente utilizados son poliésteres biodegradables, en particular, poli-ε-caprolactona (PCL), ácido poli láctico (PLA) y poli láctico-co-glicolida (PLGA). Eudragit así mismo se puede utilizar al igual que otros polímeros como el poli cianoacrilato de alquilo (PACA). Los polímeros sintéticos presentan mayor pureza y mejor reproducibilidad que los polímeros naturales (Mora-Huertas & et al, 2010; Khoee y Yaghoobian, 2008). Por otra parte, algunos polímeros son copolimerizados con poly ethylene glycol (PEG) para disminuir el reconocimiento de nanocápsulas por parte del sistema de fagocitos mononucleares (Mora-Huertas & et al, 2010; Nogueira de Assis & et al., 2008).

Así mismo, de la sustancia activa lipofílica, el núcleo de la nanocápsula está conformado por un tensoactivo y un aceite seleccionado teniendo como criterio la mayor solubilidad posible del fármaco, ausencia de toxicidad, baja solubilidad del aceite en el polímero y viceversa, y la ausencia de riesgo de degradación del polímero (Limayem & et al., 2006).

Se destaca que los distintos tipos de triglicéridos cápricos/caprílicos son útiles a menudo debido a su gran rango de solubilidad para sustancias activas. Pese a que otros compuestos como benzoato de bencilo, alcohol bencílico, ácido oleico, oleato de etilo, aceite de argán, aceite de semilla de girasol y aceite de soja no se han empleado con frecuencia, pueden dar resultados positivos. En cuanto a los tensoactivos agua/aceite, se prefieren los ésteres de sorbitán y los fosfolípidos (Mora-Huertas & et al, 2010).

Con respecto al disolvente polimérico, se elige acetona en todos los casos. Adicionalmente, distintos disolventes como el etanol se utilizan para la disolución de la sustancia activa o del aceite. Es factible la utilización de agua o soluciones tampón como no disolvente, en tanto que el agente estabilizador sea poloxámero 188 o polisorbato 80.

3.2.2 Emulsión-difusión

De acuerdo a Quintanar & et al. (1998b, 2005); Mora-Huertas & et al. (2010), la preparación de nanocápsulas por el método de emulsión-difusión confiere la nanoencapsulación de sustancias activas no solo lipofílicas sino también hidrofílicas. El proceso experimental realizado para lograrlo necesita de tres fases: orgánica, acuosa y dilución. Cuando la finalidad es la nanoencapsulación de una sustancia activa lipofílica, la fase orgánica incluye el polímero, la sustancia activa, aceite y un disolvente orgánico parcialmente miscible con agua, que necesita estar saturado de agua. Este medio orgánico se comporta como disolvente de los diferentes componentes de la fase orgánica.

La fase orgánica además consigue adicionar un disolvente de sustancia activa o un disolvente de aceite. La fase acuosa está formada de la dispersión acuosa de un agente estabilizante que se elabora utilizando agua saturada con disolvente, en tanto que la fase de dilución suele ser agua. En la Tabla 2, se muestra una composición prototipo para la preparación de nanocápsulas a escala de laboratorio utilizando el método de emulsión-difusión (tamaño de nanocápsulas: aproximadamente 150-200 nm).

Tabla 2. Composición sugerida para la preparación de nanocápsulas por el método emulsión- difusión. Adaptada de (Mora-Huertas & et al., 2010).

Material	Composición sugerida
Sustancia Activa	10 – 50 mg
Polímero	1.0 - 2.0 % de disolvente en fase interna
Aceite	2.5 – 5.0 % de disolvente en fase interna
Disolvente en fase interna	10 ml
Agente estabilizante	2.5 – 5.0 % de disolvente en fase externa
Disolvente en fase externa	40 ml
Fase de dilución	200 ml

Los polímeros más frecuentemente empleados son poliésteres biodegradables, especialmente PCL, PLA y eudragit. Así mismo se puede utilizar poli hidroxibutirato-co-hidroxicaprolactato (PHBHV). La fase interna está formada por el aceite adicionalmente de la sustancia activa y el disolvente. Al igual que en el método de nanoprecipitación, de igual manera se utilizan con frecuencia distintos tipos de triglicéridos cápricos/caprílicos. Conforme a los disolventes, el acetato de etilo es la primera opción, aunque también se pueden seleccionar el carbonato de propileno, alcohol bencílico y diclorometano.

Con relación a la fase externa, el disolvente empleado es agua y se antepone el poli alcohol vinílico (PVA) como agente estabilizador. Agentes estabilizantes como el poloxámero y los emulsionantes iónicos han sido empleados. Comúnmente la fase de dilución es agua; sin

embargo, para obtener una mejor estabilidad de la nanodispersión, agentes estabilizantes en soluciones diluidas pueden ser utilizadas.

La fase orgánica se emulsiona con agitación vigorosa en la fase acuosa para la elaboración de nanocápsulas mediante el método de emulsión-difusión. La siguiente adición de agua al sistema provoca la difusión del solvente en la fase externa, lo que resulta en la formación de nanocápsulas. Por destilación o filtración de flujo cruzado, esto se puede eliminar dependiendo del punto de ebullición del solvente. Se ha evidenciado que el tamaño de las nanocápsulas tiene relación con la velocidad de cizallamiento utilizada en el proceso de emulsificación, la composición química de la fase orgánica, la concentración de polímero, la relación aceite-polímero y el tamaño de gota de la emulsión primaria (Guinebretière, 2001 ; Moinard-Chécot & et al., 2008; Mora-Huertas & et al., 2010).

La formación de nanocápsulas según el mecanismo sugerido por Quintanar & et al. (1998a); Mora-Huertas & et al. (2010), está basado en la teoría de que cada gota de emulsión produce varias nanocápsulas y que, a su vez, estas se forman por la combinación de la precipitación del polímero y los fenómenos interfaciales durante la difusión del disolvente. Como resultado, la difusión del disolvente desde los glóbulos lleva moléculas a la fase acuosa formando regiones locales de sobresaturación a partir de las cuales se forman nuevos glóbulos o agregados poliméricos (no totalmente desolvatados) y estabilizados por el agente estabilizador que evita su coalescencia y la formación de aglomerados. Entonces, si el estabilizador permanece en la interfase líquido-líquido durante el proceso de difusión y si su efecto protector es adecuado, las nanocápsulas se formarán después de la completa difusión del solvente.

3.2.3 Método de coacervación de emulsificación

Este método se presenta principalmente como una planeación para la elaboración de nanocápsulas partiendo de materiales poliméricos de origen natural. Se han usado alginato de sodio y gelatina hasta ahora, sin embargo, podrían utilizarse materiales poliméricos sintéticos para este fin.

La serie de pasos implica la emulsificación aceite/agua de una fase orgánica (aceite, sustancia activa y disolvente de sustancia activa si es necesario) con una fase acuosa (agua, polímero, agente estabilizante) a través de agitación mecánica o ultrasonidos. Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de coacervación simple empleando electrolitos como lo hicieron Lertsutthiwong & et al. (2008); Mora-Huertas & et al. (2010) con un sistema de alginato de sodio-cloruro de calcio, a través de la adición de un no solvente miscible en agua o un agente de deshidratación como lo hicieron Krause y Rohdewald (1985; Mora-Huertas & et al., 2010) con un sistema de gelatina-isopropanol-sulfato de sodio o por modificación de la temperatura como lo hicieron Lutter & et al. (2008); Mora-Huertas & et al. (2010) con la aplicación del terpolímero tribloque en la síntesis de nanocápsulas de oro. Para finalizar, el proceso de coacervación se complementa con pasos extras de reticulación que permiten obtener una estructura rígida de cáscara de nanocápsulas.

La formación de nanocápsulas mediante el método de coacervación en emulsión utiliza la emulsión como fase molde y la formación de una fase coacervada que provoca la precipitación del polímero a partir de la fase de emulsión continua para formar una película sobre la plantilla que forma la nanocápsula. Además, se puede estabilizar mediante reticulación física intermolecular o covalente, que típicamente se puede lograr alterando el pH o la temperatura, o añadiendo un agente de reticulación (Mora-Huertas & et al., 2010).

Probablemente, la etapa crítica en la preparación de nanocápsulas por el método de coacervación en emulsión es la formación de la fase coacervada. Como explican Gander & et al. (2002); Mora-Huertas & et al. (2010), el polímero disuelto en agua está encerrado por moléculas de agua que solvatan sus grupos funcionales, típicamente a través de enlaces de hidrógeno y fuerzas de van der Waals que previenen la atracción entre segmentos de cadena en estrecha proximidad por enlaces H entre cadenas, o van der Waals u opuestas fuerzas iónicas. Por tanto, los agentes coacervantes reducen la solvatación de los polímeros disueltos e inducen una capa fina solvatada. También puede permitir la atracción entre cadenas contiguas a través de enlaces de valencia secundarios

para formar una red entrelazada o incluso reticulaciones débiles no covalentes a medida que la concentración de polímero aumenta gradualmente en la fase coacervada.

3.2.4 Método de doble emulsificación

Son sistemas heterodispersos complejos llamados "emulsiones de emulsiones", que pueden ser clasificados en dos tipos más importantes: emulsión agua-aceite-agua (w/o/w) y emulsión aceite-agua-aceite (o/w/o) (Garti, 1997; Grigoriev y Miller, 2009; Mora-Huertas & et al., 2010). Así pues, la fase dispersa es en sí misma una emulsión y el glóbulo o gotita disperso en el interior se independiza de la fase líquida exterior por una capa de otra fase. Normalmente, las emulsiones dobles se elaboran en un proceso de emulsificación de dos pasos haciendo uso de dos tensoactivos: uno hidrófobo elaborado para estabilizar la interfaz de la emulsión interna w/o y otro hidrófilo para estabilizar la interfaz externa de los glóbulos de aceite para emulsiones w/o/w.

El fundamento de formación de doble emulsión, para la elaboración de nanocápsulas particularmente del tipo w/o/w, está relacionado con los fundamentos de los métodos de nanoprecipitación y emulsión-difusión. En este aspecto, en la emulsión w / o primaria, el aceite se intercambia por una fase orgánica que contiene un disolvente que es total o parcialmente miscible en agua, el polímero con forma de película y un tensoactivo w / o. Posteriormente, el agua que incluye un agente estabilizador se adiciona al sistema para conseguir el agua en una emulsión orgánica en agua. Sin embargo, en este paso, el endurecimiento de las partículas se obtiene mediante la difusión del disolvente y la precipitación del polímero (Bilati & et al., 2005c; Khoee y Yaghoobian, 2008; Mora-Huertas & et al., 2010). Con frecuencia se agrega agua a la emulsión doble para lograr una difusión completa del solvente.

De acuerdo con Khoee y Yaghoobian (2008); Mora-Huertas & et al. (2010), los tensoactivos juegan un papel doble en las emulsiones: como formadores de película y barrera para la liberación del fármaco en la interfaz interna, y como estabilizador estérico en la interfaz externa. Se encontró que la eficiencia de encapsulación del fármaco y el

tamaño de partícula promedio se ven afectados por el cambio del tipo y concentración tanto de la emulsión w / o como del agente estabilizante.

En la Tabla 3, se proporciona una base de composición para la preparación de nanocápsulas a escala de laboratorio mediante el método de doble emulsificación (tamaño de aproximadamente 150-200 nm).

Tabla 3. Composición sugerida para la preparación de nanocápsulas por el método de doble emulsión. Adaptada de Mora-Huertas & et al, 2010.

Material	Composición sugerida
Fase acuosa interna	
Sustancia Activa	Variable (0.5 - 25 mg)
Agua	0.15 – 0.5 ml
Fase orgánica	
Polímero	5 - 10% de disolvente de fase orgánica
Tensoactivo agua/ aceite	5 – 7% de disolvente de fase orgánica
Solvente	1.5 – 5 ml
Fase acuosa externa	
Agente estabilizante	1 – 5 % de disolvente en fase acuosa externa
Agua	2 – 5 ml
Fase de dilución (opcional)	
Agente estabilizante	1 - 5 % de disolvente en fase de dilución
Agua	50 – 100 ml

Actualmente, la fase acuosa interna está formada únicamente por la sustancia activa, en algunos casos formando complejos, y agua. Se han empleado como disolventes acetato de etilo, cloruro de metileno y diclorometano y con regularidad se han manejado poliésteres biodegradables, como PCL, PLA y PLGA en la fase orgánica. En lo que respecta a los tensioactivos o / w, se opta por los ésteres de sorbitán.

Acerca de la fase acuosa externa, los agentes estabilizantes más comúnmente empleados son PVA y polisorbatos. Para ayudar a la dispersión de las nanocápsulas, se emplea la misma composición de fase acuosa externa para la fase de dilución si el procedimiento seleccionado implica una etapa de dilución final. Típicamente en el proceso para la elaboración de nanocápsulas por emulsificación doble, la emulsión primaria se forma por ultrasonido y el tensioactivo w/o estabiliza la interfaz de la emulsión interna w/o. La segunda emulsión también se forma por ultrasonidos y la dispersión de nanocápsulas se estabiliza mediante el agregado del agente estabilizador. Al finalizar, los disolventes se eliminan por evaporación o extracción al vacío, dejando nanocápsulas endurecidas en medio acuoso.

3.2.5 Método de recubrimiento de polímero

Existen diferentes planeaciones metodológicas para agregar una capa delgada de polímero sobre la superficie de la nanopartícula. Se puede alcanzar lo anteriormente dicho, adsorbiendo el polímero sobre las nanocápsulas sin revestir preformadas cuando estas se incuban en una dispersión de polímero bajo condiciones específicas de tiempo y agitación (Calvo & et al., 1997; Mora-Huertas & et al., 2010). Es posible la incorporación del polímero en capas en la etapa final de los procesos convencionales para la preparación de nanocápsulas como la nanoprecipitación y la emulsificación doble. De este modo, estos métodos se han ido cambiando con el objetivo de adicionar una capa de polímero al medio acuoso externo y permitir la formación sincronica de capas por la precipitación del polímero cargado (principalmente de naturaleza negativa) y a la difusión del solvente (Calvo & et al., 1997; Vila & et al., 2002; Mora-Huertas & et al., 2010).

Además, Prego & et al. (2006); Mora-Huertas & et al. (2010) plantea un método de recubrimiento de polímero en el que, para empezar, se debe preparar la plantilla de nanoemulsión y posteriormente recubrirla mediante deposición de polímero sobre la superficie de la nanoemulsión de agua/aceite. Los polímeros se adicionan en fase continua y su precipitación encima de las gotitas de nanoemulsión se desencadena por evaporación del disolvente, siendo diferente del método de coacervación en emulsión. También, Anton & et al. (2008) expone de un método utilizado por Paiphansiri & et al. (2006), que tiene

bases en la formación por sonicación de una nanoemulsión agua/aceite seguida de recubrimiento con una solución compuesta de polímero y diclorometano agregados gradualmente en la fase orgánica continua de la nanoemulsión. Los polímeros formados por capas que son empleados son poli (metacrilato de metilo) (PMMA), poli (metacrilato) (PMA) y PCL. La formación de nanocápsulas se basa en el mecanismo de engullimiento en sistemas trifásicos (Torza y Mason, 1970; Mora-Huertas & et al., 2010).

Al juntarse dos gotas de líquidos miscibles entre sí y unirse en una tercera fase líquida que forma una película entre ellas, la tercera fase es drenada hasta que de repente se forma un agujero de igual forma que cuando dos gotas idénticas se unen para formar una gota. Como consecuencia de que una de las gotas comprende el polímero, cuando las dos gotas se fusionan, se forma una tercera interfaz en el orificio de expansión y el engrosamiento se produce mediante una combinación de procesos de penetración simultáneos impulsados por la diferencia de presión capilar entre las dos gotas y la extensión del polímero sobre la fase acuosa. Así pues, cuando al final se evapora el disolvente, el polímero precipita sobre las gotitas de agua de la nanoemulsión para formar las nanocápsulas.

3.2.6 Método capa por capa

El método capa por capa es un proceso de ensamblaje desarrollado por Sukhorukov & et al. (1998) para la estructuración de partículas coloidales el cual permite obtener partículas vesiculares, denominadas cápsulas de polielectrolitos, con propiedades estructurales y químicas bien definidas. En pocas palabras, el mecanismo de formación de nanocápsulas está basado en una atracción electrostática irreversible que guía a la adsorción de polielectrolitos a concentraciones de polielectrolitos a granel sobresaturantes. El procedimiento requiere una plantilla coloidal sobre la cual se adsorbe una capa de polímero por incubación en la solución de polímero, después lavada, o reduciendo la solubilidad del polímero mediante la adición gota a gota de un disolvente miscible (Radtchenko & et al., 2002; Mora-Huertas & et al., 2010).

Este método se repite luego con un segundo polímero y se depositan múltiples capas de polímero secuencialmente, una tras otra. Conforme Radtchenko & et al. (2002b), “las macromoléculas grandes no pueden penetrar las multicapas polielectrolíticas, mientras que los solutos pequeños, como los iones o las moléculas de fármacos, pueden hacerlo con mayor facilidad. En consecuencia, tener presencia de macromoléculas solo dentro de las cápsulas conduce a una distinción en las propiedades fisicoquímicas entre el volumen y el interior de la cápsula y hace posible establecer un gradiente de polaridad a través de la pared de la cápsula que podría usarse para precipitar materiales poco solubles en agua (como la mayoría de los fármacos) dentro de ellos”. Según lo que presenta este enfoque, se han demostrado las propiedades de permeabilidad de las nanocápsulas multicapa de polielectrolitos huecos en función del pH y el comportamiento reversible de los estados abierto y cerrado de la pared de la cápsula (Antipov & et al., 2002; Mora-Huertas & et al., 2010). Adicional a lo anterior, este cambio de nanocápsulas “abiertas” a “cerradas” y viceversa, puede ocurrir a través de cambios en las condiciones ambientales como la temperatura o la presencia de disolventes orgánicos (Ai & Gao, 2004; Mora-Huertas & et al., 2010).

Además, como indica Radtchenko & et al. (2000); Mora-Huertas & et al., (2010), el problema clave del ensamblaje capa por capa es la necesidad de recargar la superficie en cada paso de adsorción. Las moléculas empleadas para el ensamblaje deben tener un número suficiente de grupos cargados para proporcionar una adsorción estable en una superficie con carga opuesta y cargas no compensadas expuestas al exterior. Sin embargo, teniendo en cuenta consideraciones energéticas, no se puede excluir la posibilidad de que la adsorción secuencial del siguiente polielectrolito pueda eliminar el contrapolio depositado en lugar de adsorberse sobre él (Sukhorukov & et al., 1998; Mora-Huertas & et al., 2010).

Además, este método plantea otras dificultades tales como la formación de agregados de contraiones, la división del polielectrolito libre restante de las partículas antes del ciclo posterior de deposición y la formación de puentes inducida por polielectrolitos durante la centrifugación. Las partículas que tienen encuentros cercanos pueden causar interacciones desfavorables con las películas de polielectrolito, lo que posiblemente lleve

a la destrucción de la película y la formación de agregados (Sukhorukov & et al., 1998; Mora-Huertas & et al., 2010). Así mismo, otra dificultad son los tamaños de partícula obtenidos que son superiores a 500 nm (Sukhorukov & et al., 1998; Chen & et al., 2009; Mora-Huertas & et al., 2010). Aun cuando estos tamaños de partículas están a escala submicrónica, evidentemente son más grandes que el tamaño comúnmente aceptado para las nanocápsulas. No obstante, este problema se ha aventajado mediante el tratamiento ultrasónico de suspensiones acuosas para reducir el tamaño de las partículas individuales del fármaco a nanoescala (100-200 nm). Después se estabilizan en solución a través de la aplicación de un revestimiento capa por capa mediante tratamiento ultrasónico y se ensamblan capas delgadas de polielectrolito en sus superficies (Agarwal & et al., 2008; Mora-Huertas & et al., 2010).

Por consiguiente, aunque la investigación que utiliza esta metodología ha mejorado enormemente la técnica, se acepta que la gran cantidad de pasos de ensamblaje involucrados es suficientemente compleja y necesita de mucho tiempo, en especial para la síntesis de nanocápsulas de polímero de paredes gruesas (Sablon, 2008; Mora-Huertas & et al., 2010).

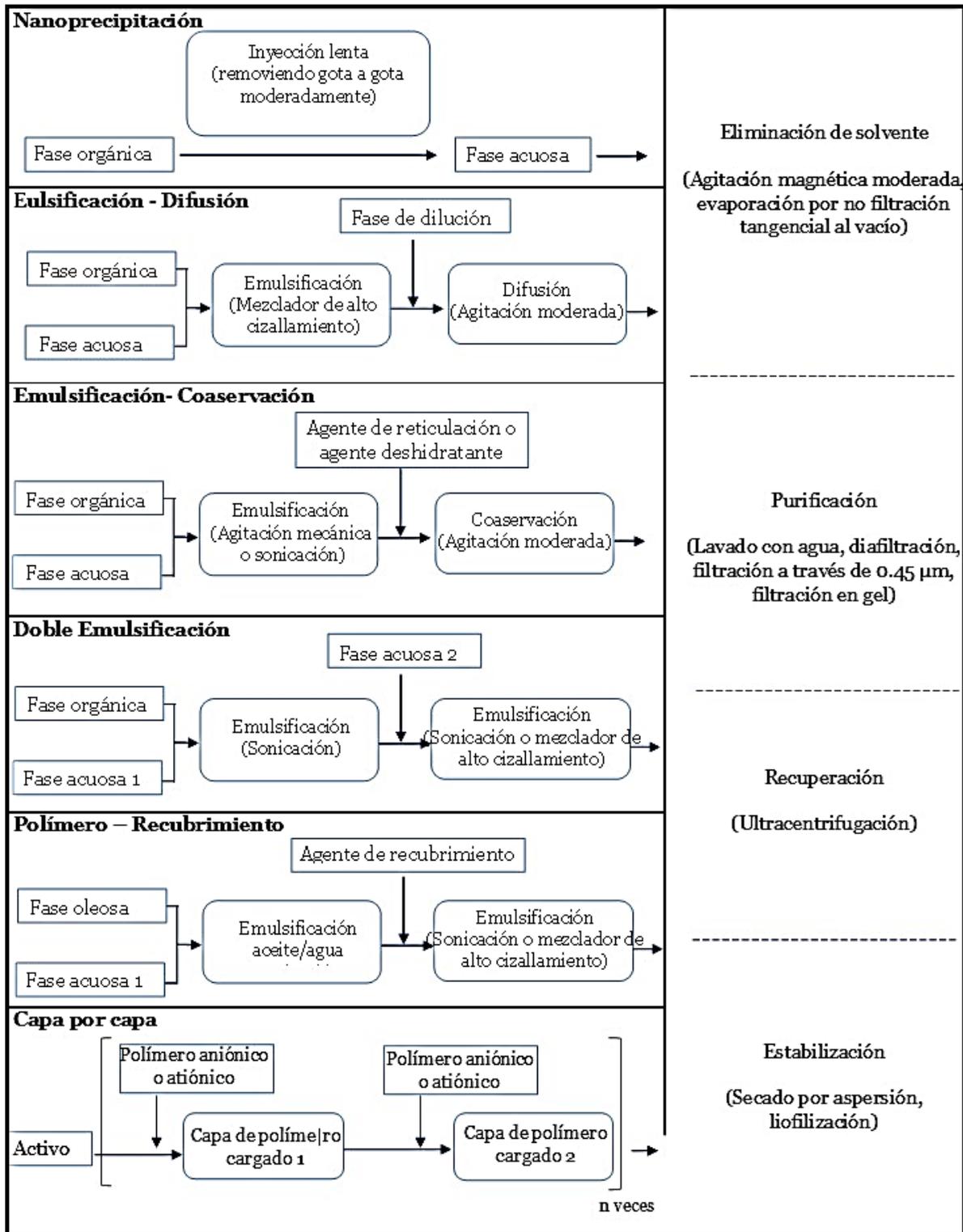


Figura 5. Procedimiento general de los diferentes métodos para la preparación de nanocápsulas. Adaptado de: Mora-Huertas & et al, 2010.

3.3 Nanopartículas poliméricas

3.3.1 Nanocápsulas

Las nanocápsulas (NC) podrían compararse con los sistemas nano-vesiculares en los que una sustancia activa está confinada en una cavidad que consta de un núcleo líquido interno rodeado por una membrana polimérica (capa central). La cavidad puede contener la sustancia activa en forma líquida o sólida o como una dispersión molecular. Además, este depósito puede ser lipófilo o hidrófilo según el método de preparación y los materiales utilizados para su preparación. Teniendo en cuenta las limitaciones operativas de los métodos de preparación, las nanocápsulas también pueden transportar el ingrediente activo adsorbido en su superficie o incrustado en su membrana polimérica (González-Reza & et al., 2019; Mora-Huertas & et al., 2010).

La nanoencapsulación de aceites esenciales (AE) ofrece numerosas ventajas, como facilidad de manipulación, estabilidad, protección contra la oxidación, distribución mejorada, solubilidad, liberación controlada, con un efecto adverso menor o nulo sobre las propiedades organolépticas de los alimentos aplicables con biodisponibilidad mejorada. Por tanto, el uso de la nanotecnología para desarrollar conservantes basados en AE podría mejorar su eficacia en el sistema alimentario (Prakash, B. & et al., 2018).

3.3.2 Nanoesferas

Las nanoesferas (NS) se definen como partículas coloidales sólidas, en las que las moléculas activas se disuelven, atrapan o encapsulan, se unen químicamente a los polímeros o se adsorben en la superficie de la partícula. Estas nanoesferas tienen núcleos poliméricos compactos (para garantizar una buena estabilidad) pero los núcleos son degradables. En otras palabras, cualquier nanoesfera se puede representar como una masa esférica polimérica completa en la que, como resultado, las moléculas activas pueden quedar atrapadas dentro del centro de la esfera o adsorbidas en la superficie de la matriz (El-Say y El-Sawy 2017; Gref & et al.2012). La figura 6 muestra las nanopartículas de polímero, en las que es posible encontrar nanocápsulas y nanoesferas.

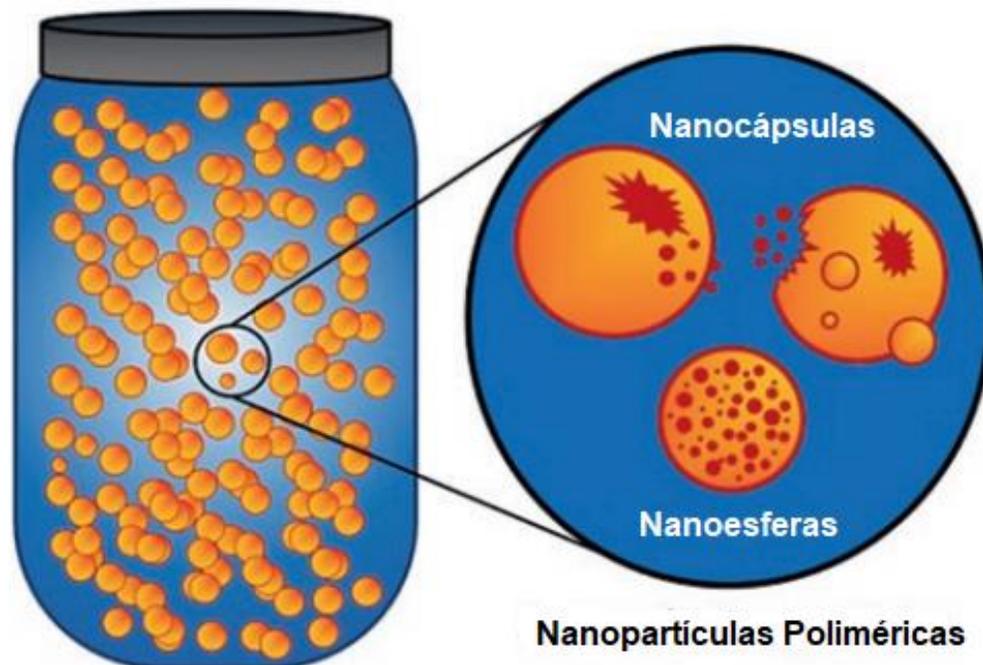


Figura 6. Nanopartículas poliméricas en alimentos (nanocápsulas y nanoesferas)

Adaptada de: González-Reza & et al., 2019.

Generalmente, existen seis métodos clásicos para la preparación de nanocápsulas: nanoprecipitación, emulsión-difusión, doble emulsificación, emulsión coacervación, recubrimiento de polímero y capa por capa los cuales fueron descritos a detalle anteriormente.

3.4 Impacto de los nanomateriales en los alimentos

La nanotecnología ha sido diseñada en todas las áreas con propiedades nuevas y mejoradas que muy seguramente tendrán un impacto en las ciencias físicas y químicas, la salud y las ciencias biológicas (Kaur & et al., 2012). La tecnología a nanoescala, ofrece una amplia gama de soluciones de desarrollo para productos innovadores y aplicaciones de sistemas alimentarios. Los nanomateriales y la nanotecnología son una parte natural del procesamiento de alimentos y los alimentos convencionales, porque las propiedades que caracterizan a muchos alimentos se basan en componentes de tamaño nanométrico,

siendo los mejores ejemplos las nanoemulsiones y las espumas (Chau, 2015). Hay diferentes tipos de dimensiones producidos por nanomateriales, como nanoescala en tres dimensiones (NP, como una preparación de polvo muy fino), dos dimensiones (nanocables) o una dimensión (recubrimientos muy delgados). La nanotecnología se inició con la fabricación de polímeros basados en subunidades a nanoescala durante muchos años. Debido a las nuevas tecnologías, recientemente se han lanzado al mercado muchos NP de nueva ingeniería (Jaiswal, 2016; Srinivas & et al., 2010).

Las nanotecnologías tienen un potencial gigante de aplicación en muchos aspectos en los sistemas alimentarios y agrícolas, como materiales de envasado, seguridad alimentaria, tratamiento de enfermedades (Mishra & et al., 2017), sistemas mejorados de administración, biodisponibilidad y nuevas herramientas en biología molecular y celular con materiales novedosos para la detección de patógenos (Mukhopadhyay, 2014). Asimismo, la nanotecnología incluso tiene una aplicación potencial en el procesamiento de aditivos alimentarios, cosméticos, pesticidas, fertilizantes (Huang & et al., 2015) y envases. La composición biológica y bioquímica hace que los alimentos se ven afectados debido a cambios en una variedad de modificaciones inducidas por el procesamiento y poscosecha. Los desarrollos de la nanotecnología en los campos de la seguridad alimentaria a la síntesis molecular tendrán aplicaciones globales en el futuro cercano (Sekhon, 2014).

El desarrollo de sistemas de alto rendimiento nanoestructurados que tiene aplicaciones alimentarias ha mejorado la seguridad alimentaria en los últimos años. Se han aplicado en áreas diferentes estos sistemas, como la encapsulación y liberación controlada de componentes cuando se habla del desarrollo de nuevas metodologías de procesamiento de alimentos, así como el envase de los mismos. Teniendo como uno de sus propósitos, la comercialización, productos diversos que tienen como base la nanotecnología, han sido lanzados al mercado en los últimos 10 años, reclamando una funcionalidad mejorada basada en sus características nanométricas (Silva, Cerqueira & Vicente 2015).

El crecimiento de sistemas nanoestructurados que tienen base biológica, para aplicaciones alimentarias, ha sido sustentado por investigadores a través de una gran cantidad de

trabajos publicados. Estos trabajos tienen el potencial de usar esos sistemas para varias aplicaciones como lo son, la protección y transferencia de compuestos bioactivos, inmovilización de enzimas, detección de contaminantes y microorganismos mediante el desarrollo de sensores, remoción de químicos de alimentos, purificación de agua usando el método de nanofiltración, y el desarrollo de nanocompuestos para envases. Esta variedad de aplicaciones se explica por la posibilidad de desarrollar nanoestructuras de base biológica con arquitecturas diferenciadas que, según los materiales y metodologías utilizadas, pueden diseñarse con diferentes formas y tamaños. Las formas comunes de los sistemas nanoestructurados de base biológica son esferoides (cápsulas o partículas), fibras (membranas), películas delgadas (nanorrevestimientos para envases de alimentos) y tubos (sensores) (Cerqueira & et al. 2017).

Diferentes enfoques pueden ser utilizados para el desarrollo de sistemas nanoestructurados, dando importancia al control de las fuerzas impulsoras (por ejemplo, interacciones electrostáticas e hidrofóbicas) y la energía libre del sistema (por ejemplo, para evaluar la estabilidad termodinámica), lo que conduce a sistemas con distintas propiedades y funcionalidades. El desafío más grande es controlar las características más importantes y propiedades de las nanoestructuras desde el laboratorio hasta la producción industrial. Adicional a ello, una variedad de los retos relacionados con la ampliación de la producción de nanoestructuras son la producción por lotes frente a la continua, el aumento de la tasa de flujo y el proceso de homogeneización, que conduce a un número considerable de ensayos para la optimización de procesos a escala industrial. Por otro lado, para las nanoestructuras inorgánicas (como ZnO, TiO₂ y SiO₂), la ampliación y comercialización se encuentra en el paso exponencial, donde varias empresas han demostrado la capacidad de producir varios kilogramos por día, para las nanoestructuras orgánicas, mientras que para la producción industrial aún es el principio (Piccinno & et al. 2012; Tsuzuki 2009). Algunas de las metodologías que muestran la capacidad de escalamiento para la producción de nanoestructuras de base biológica de calidad alimentaria son la homogeneización a alta presión, la microfluídica, la atomización vibracional (secador de nanopulverización) y la nanoprecipitación (Arpagaus 2012; Cerqueira & et al. 2014; Lu & et al. 2016; Trierweiler y Trierweiler 2011).

Distintos procesos a los ya mencionados, que muestran ventajas prometedoras son los procesos electrohidrodinámicos, como el electrohilado y la electropulverización, que se han explorado para la producción de sistemas nanoestructurados biobasados de calidad alimentaria. Estos nuevos procesos están comenzando a cambiar y mejorar la industria alimentaria mediante su uso en varias aplicaciones con una amplia gama de materiales de base biológica generalmente reconocidos como seguros (GRAS) por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) y/o la Agencia Europea de Alimentos. Autoridad de Seguridad (EFSA) (Kaur Bhullar & et al., 2015). Varios estudios confirmaron que los procesos de electrohilado y electropulverización son muy efectivos en la producción de nanoestructuras de base biológica con varias ventajas que superan las limitaciones tecnológicas existentes, como rango de diferentes tamaños (micro a nano) y tipo de estructuras (fibras y partículas), no requiere calentamiento, capacidad para escalar (sistemas de múltiples boquillas), versatilidad en la morfología (porosidad y rugosidad) y bajo o ningún requerimiento de solvente orgánico (Ghorani y Tucker 2015). Asimismo, el uso de biopolímeros de grado alimenticio para la producción de estructuras capaces de garantizar altas eficiencias de encapsulación, una buena estabilidad y una liberación controlada de compuestos bioactivos también es una ventaja importante (Anu Bhushani & et al., 2014). No obstante, pueden presentar algunas limitaciones como el alto precio del equipo y el difícil escalado del proceso (Quirós & et al., 2016).

3.5 Estudios de caso en pulpas de fruta

En esta sección se hablará de la recopilación que se realizó para ejemplificar la adición de sistemas poliméricos nanoestructurados en la conservación de pulpas de fruta. La Tabla 4, muestra algunos ejemplos del efecto de distintos polímeros en la conservación de frutas.

Tabla 4. Efecto de aplicación de distintos polímeros en frutas.

Alimento	Método de formación	Polímero matriz	Hallazgo	Referencia
Guayaba	Inmersión en solución y secado	Goma arábica y aceite de canela	<p>-10% de Goma arábica con 1% de extracto de aceite de canela contribuyen a una menor pérdida de peso del alimento</p> <p>-Dan mayor firmeza</p> <p>-Muestran un efecto positivo en la variación de color</p> <p>-Conservan mayor contenido de sólidos solubles</p> <p>Conservan mayor cantidad de ácido ascórbico</p>	(Etemadipoor & et al., 2019)
Guayaba	Inmersión en solución y secado	Quitosan, alginato y extracto de cascara de granada	<p>-Alginato con extracto de cascara de granada restringen el incremento del índice de maduración</p> <p>-Demoran la respiración alterando la atmosfera interna de los alimentos</p>	(Nair & et al., 2018)

			<ul style="list-style-type: none"> -Qitosan con extracto de cascara de granada dan la máxima retención de colores -Se reduce la oxidación del ácido ascórbico debido a la que se crea con bajos niveles de O₂ -Retiene el contenido de fenoles para crear un efecto antioxidante -Incrementan los niveles de antioxidante 	
Fresa	Inmersión, escurrimiento y aireado	Goma arábica	<ul style="list-style-type: none"> -Con la adición de goma arábica se presenta una mayor firmeza a los 7 y 10 días de almacenamiento -Hay un mayor contenido de sólidos solubles -Se inhibe el crecimiento microbiano 	(Tahir & et al., 2018)

			<ul style="list-style-type: none"> -Reduce la pérdida de peso en el alimento -Retiene características de color -Conserva los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante -Disminuye actividad enzimática 	
Guayaba	Inmersión y secado	Quitosan y ácido cítrico	<ul style="list-style-type: none"> -La aplicación de quitosan y ácido cítrico a 10 mg/ml (1%) inhibio por completo el crecimiento de micela durante la incubación (19 días) -Indice cambios marcados en la morfología superficial en las esporas de hongos durante la germinación y crecimiento de hifas -Los sólidos solubles, azúcar total y ácido 	(Nascimento & et al., 2020)

			<p>ascórbico se mantienen</p> <ul style="list-style-type: none"> -Mayor eficiencia para retardar la maduración -Previene el cambio de color en el alimento -Menor presencia de microorganismos patógenos 	
Guayaba	Inmersión y secado con aire	Goma arábica, caseinato de sodio, aceite esencial de canela y de hierbas de limón	<ul style="list-style-type: none"> -A concentraciones de 5% GA + 1% CS + 2% CE, se registra menos actividad de la polifenol oxidasa -Los recubrimientos aplicados retienen mayor cantidad de fenoles y flavonoides - A concentraciones de 5% GA + 1% CS + 1% LG y 5% GA + 1% CS + 2% LG, muestran una fuerte ayuda a inhibir enfermedades y degradación de la fruta -1 y 2% de aceite esencial de hierbas 	(Murmu & Mishra, 2018)

			<p>de limón y aceite esencial de canela mantienen bajas concentraciones de O₂ y CO₂, lo cual ayuda a inhibir la oxidación de ácido ascórbico</p> <p>-Con 5% AG + 1% SC y variadas concentraciones de CE y LG regulan el metabolismo y la tasa de incremento de azúcar total</p> <p>-En evaluaciones sensoriales, las formulaciones de 5% GA + 1% CS + 1% LG y 5% GA + 1% CS + 2% LG exhiben la mayor aceptación por consumidores</p>	
--	--	--	--	--

LA Tabla 5, muestra novedosas aplicaciones que se han realizado de sistemas de talla nanométrica en frutas y pulpas de frutas, denotando los hallazgos más importantes, así como posibles áreas de oportunidad en su desarrollo y aplicación.

Tabla 5. Aplicación de nano partículas en frutas y pulpas de fruta.

Alimento	Método de formación	Polímero matriz	Agente activo	Hallazgo	Referencia
Durazno	Inmersión	Proteína de soya aislada y quitosán		<ul style="list-style-type: none"> -La proteína de soya aislada con quitosán crea una mejor barrera contra la evaporación de agua -Mantiene el contenido de sólidos solubles -Nanoquitosa como recubrimiento, retarda la pérdida de ácido málico -Disminuye la tasa de espiración, manteniendo la calidad de los duraznos -Inhibe la solubilidad de la pectina en agua y pectina quelada -Retarda la degradación de la pectina 	(Zhang & et al., 2018)
Papaya	Aspersión		Extracto etanólico de propóleo	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor inhibición de C. Gloeosporioides -Las frutas con tratamiento no presentaron cambios 	(Barrera Bello & et al., 2012)

				<p>significativos en el % de acidez</p> <ul style="list-style-type: none"> -Presentan menor deterioro en cuanto a color y textura de pulpa y lesiones en la piel -Mayor reducción logarítmica de microorganismos entre los días 3 y 7 para mesófilos aerobios -Reducción significativa de mohos y levaduras -Proceso de maduración ligeramente tardío 	
Melón	Aspersión durante cultivo		Óxido de zinc	<p>La aplicación de nanopartículas de óxido de zinc tuvo efectos favorables a concentración de 200mg/L</p> <ul style="list-style-type: none"> -Conserva el mayor peso del fruto -Se observa mayor rendimiento de este 	(Rivera-Gutiérrez & et al., 2021)

				<ul style="list-style-type: none"> -Presenta mayor cantidad de sólidos solubles -Mayor firmeza -Presenta mayor contenido de zinc en pulpa <p>A concentraciones de 50 mg/L:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Se obtuvo mayor contenido de flavonoides -Mayor cantidad de fenoles -Capacidad antioxidante mayor -Se conserva la más alta cantidad de vitamina C 	
Fresa	Inmersión	Nano partículas de quitosano y propóleo		<ul style="list-style-type: none"> -Menor pérdida de peso en la formulación de CS+CSNPs+ P10% -Mayor firmeza en todas las concentraciones con tratamiento -Presenta mejor conservación del contenido de fenoles 	(Martínez-González & et al., 2020)

				<p>con el tratamiento CS+CSNPs+ P10%</p> <p>-Mayor contenido de flavonoides con CS+CSNPs y CS+CSNPs+ P20%</p> <p>-Con cualquier concentración de recubrimientos muestra una disminución en la inhibición de DPPH</p>	
Mandarina	Inmersión		<p>Aceite esencial de canela y nanoestructura lipídica de aceite esencial de canela</p>	<p>-La nanoestructura lipídica le da al aceite esencial la oportunidad de distribuirse homogéneamente través del interior del recubrimiento del alimento</p> <p>-Los valores de concentración mínima inhibitoria y concentración mínima fungicida fueron menores para el tratamiento con CEO</p> <p>-En las formulaciones NLC+ 0.3mg/ml CEO</p>	(Radi & et al., 2022)

				<p>y NLC+ 0.6mg/ml CEO se observa un efecto significativo en la pérdida de peso, ya que para estos la pérdida es menor</p> <p>-En la formulación NLC+ 0.6mg/ml CEO se reduce la mayor cantidad de esporas de <i>P. Citrinum</i> y <i>P. Expansum</i>, por ende, aumenta la vida útil de la mandarina</p> <p>-El color mejor calificado por un panel fue en el tratamiento de NLC+ 0.6mg/ml CEO</p>	
Jugo de naranja	Adición		Aceite esencial de tomillo andaluz	<p>-TCEO muestra actividad antimicrobiana contra <i>L. Monocytogenes</i>, <i>S. Aureus</i> y <i>E. coli</i>.</p> <p>-TCEO mostró efecto bacteriostático contra <i>E. Coli</i> y efecto bactericida contra <i>L. Monocytogenes</i> y <i>S. Aureus</i></p>	(Charfi & et al., 2019)

				-TCEO tiene capacidad de inhibir cepas patógenas	
Papaya	Inmersión	CMC	Aceite esencial de orégano	-Con el recubrimiento se obtuvo una mayor firmeza (14.4%) inhibiendo el proceso de maduración -El % del índice de decaimiento en el día 8 fue 40% menor, disminuyendo el deterioro causado por <i>C. Goeosporioides</i> -Se observa disminución de carga microbiana en la hora 168 (28% menor)	(G & et al., 2015)
Fresa	Inmersión	Almidón de plátano Qitosano	Glicerol	-La formulación F4 (4%AL, 2%GLI y 1.5%CS) tuvo mayor desempeño con una reducción del 17% en su peso y prolongación de la vida útil por 5 días -Se observa menor reducción de pH y sólidos solubles con tratamientos	(García & Pinzón, 2016)

				<p>-La acidez titulable aumentó</p> <p>-Comportamiento más estable en cuanto a color con formulación F4</p> <p>-Se ralentiza el fenómeno de pérdida de humedad, por lo que la firmeza se mantiene por un tiempo mayor</p>	
Granada	Inmersión	Qitosano		<p>-En las frutas recubiertas se retardó la degradación del contenido de sólidos solubles</p> <p>-Los aumentos en la tasa de producción de O₂, el contenido de H₂O₂ y MDA se suprimieron significativamente (25.4%, 19.2% y 8.5% respectivamente) mediante el tratamiento con 1.5% CS</p> <p>-Se inhibe la acumulación de</p>	(Nie & et al., 2020)

				<p>especies reactivas de oxígeno y MDA</p> <p>-La granulación, cambio de color y pigmento rojo en pulpa, fueron significativamente suprimidos por el recubrimiento de manera dependiente del tiempo</p> <p>-El aumento en el índice de granulación fue significativamente inhibido por el tratamiento con CS a partir del día 90</p> <p>-Las frutas con recubrimiento presenta niveles mayores de licopeno, AsA y GHS</p> <p>-La actividad de SOD en frutos recubiertos fue significativamente mayor después de 45 días y la actividad de AT fue mayor los primeros 3 meses, la</p>	
--	--	--	--	---	--

				actividad de APX, GR fue más alta después de 45 y 90 días	
Aguacate Hass	Inmersión	Quitosano	Aceite esencial de tomillo	<p>-En pruebas in vitro, el crecimiento microbiano se inhibió en 100% en TEO y CSTEО-NPs (1-5%)</p> <p>-En la formulación E (44.6% CS, 0.1% CO, 0.3% GLY, 55.0% CSTEО-NPs) el desarrollo micelial se inhibió en 100% debido a la concentración de TEO en la formulación</p> <p>-En las pruebas in situ se observa que la incidencia de la enfermedad para el fruto recubierto fue 54%, valor inferior en comparación al control (84.6%)</p> <p>-El índice de severidad fue de menos del 25%</p> <p>-La incorporación de CSTEО-NPs no afectó</p>	(Correa-Pacheco & et al., 2017)

				<p>la calidad del aguacate en cuanto a pérdida de peso, sólidos solubles, DMC y acidez, siendo similares al control</p> <ul style="list-style-type: none">-La firmeza del aguacate recubierto fue mayor durante el almacenamiento (6 días)-El recubrimiento tampoco afectó al color	
--	--	--	--	--	--

CAPÍTULO IV. NORMATIVIDAD DE LA NANOTECNOLOGÍA EN ALIMENTOS

4.1 Normatividad nacional

Gracias a avances científicos y tecnológicos, la manipulación de la materia a escala nanométrica ha sido posible en las últimas décadas. Debido a este tipo de progresos se ha posibilitado la invención de nuevos materiales denominados nanomateriales (NMs), cuyas propiedades físicoquímicas cambian respecto a sus homólogos macros ya plenamente conocidos (Tinkle, & et al., 2009) lo que les da nuevas perspectivas. Una de sus peculiaridades es su área superficial, ya que es significativamente mayor, y la mayoría de las veces reaccionan de forma distinta con el ambiente y con los organismos vivos, debido a que su reactividad es mayor y presenta una movilidad alta. El uso de ciertos nanomateriales, nanobjetos, nanocompuestos, nanoprosos y sus aplicaciones son muchas veces controversiales, al existir aún gran incertidumbre respecto a sus efectos en el medio ambiente, la salud de los trabajadores, los consumidores y por las implicaciones éticas que su uso pueda tener.

México es miembro del TC-229 (Comité Técnico de Nanotecnología) junto con otros 33 países miembros y 21 países observadores. La participación de México en este es mediante el Comité de Normalización Internacional Espejo del ISO/TC 229, siendo la Dirección General de Normas (DGN) de la Secretaría de Economía el representante formal de México ante la ISO. Como parte de las funciones del comité (ISO/TC 229), están el apoyar el desarrollo sostenible y responsable, la difusión global de tecnologías emergentes, facilitar el comercio global de nanotecnologías, mejorar la calidad, seguridad, protección del consumidor y del ambiente, además del uso racional de los recursos naturales en el contexto de nanotecnología y por último, el proporcionar buenas prácticas sobre producción, utilización y desecho de nanomateriales y productos de nanotecnología y productos y servicios basados en las nanotecnologías (Saldívar, 2020; AENOR, 2006).

En el ramo de legislación, en México se cuenta únicamente con Normas Mexicanas (NMX) que son específicas a la nanotecnología, estas son voluntarias y son muy cercanas a las normas ISO/TC229 (Saldívar, T., 2020; Vázquez, 2017). Existen NMX para la

nanotecnología, el Comité Técnico de Normalización Nacional en Nanotecnologías (CTNNN) realiza el proceso de revisión de nuevas normas, del 2014 a octubre del 2019 se han trabajado en 30 proyectos y se tienen 12 NMX, de estos doce, 5 se refieren a vocabulario y terminología, 4 a caracterización y descripción, 2 a gestión de riesgo ocupacional y 1 a etiquetado voluntario (Saldívar, T., 2019, CTNNN, 2019).

Tabla 6. Normas mexicanas en materia de nanotecnología elaboradas por el CTNNN. Adaptada de Saldívar, T. 2020 y CTNNN y Normalización Internacional Espejo del ISO/TC 229 Nanotechnologies, 2019.

Publicadas	
NMX-R-10867-SCFI-2014	Nanotecnologías- Caracterización de nanotubos de carbono de una capa (NTCUC) mediante espectroscopía de fotoluminiscencia en el infrarrojo cercano (EFL-IRC).
NMX-R-10929-SCFI-2014	Nanotecnologías- Caracterización de muestras de nanotubos de carbono de múltiples capas (NTCMC).
NMX-R-13830-SCFI-2014	Nanotecnologías- Guía para el etiquetado de nano-objetos manufacturados y de productos que contengan nano-objetos manufacturados.
NMX-R-27687-SCFI-2014	Nanotecnologías- Terminología y definiciones para nano-objetosnanopartícula, nanofibra y nanoplaca.
NMX-R-62622-SCFI-ANCE-2014	Nanotecnologías- Descripción, medición y descripción de parámetros de calidad dimensional de rejillas artificiales.
NMX-R-80004-1-SCFI-2014	Nanotecnologías- Vocabulario-parte 1: conceptos básicos

NMX-R-80004-3-SCFI-2014	Nanotecnologías- Vocabulario - parte 3: nano-objetos de carbono.
NMX-R-12901-1-SCFI-2015	Nanotecnologías- Gestión de riesgo ocupacional aplicado a nanomateriales manufacturados. Parte 1: principios y enfoques.
NMX-R-80004-5-SCFI-2015	Nanotecnologías- Vocabulario - parte 5: interfaz NANO/BIO
NMX-R-80004-6-SCFI-2015	Nanotecnologías – Vocabulario – parte 6: Caracterización de nano-objetos.
NMX-R-10798-SCFI-2016	Nanotecnologías – Caracterización de nanotubos de carbono de una capa mediante microscopía de barrido con electrones y espectroscopía de dispersión de energía de rayos X.
NMX-R-12901-2-SCFI-2016	Guía para la gestión de riesgo ocupacional aplicada a nanomateriales artificiales – Parte 2: Control por bandas.
En consulta pública	
PROY NMX-R80004-4-SCFI-2016	Nanotecnologías – Vocabulario - parte 4: materiales nanoestructurados
PROY NMX-R18196-SCFI-2017	Nanotecnologías - Matriz de métodos de medida para nano-objetos.
PROY NMX-	Nanotecnologías - Caracterización de nanotubos de carbono de una capa mediante espectroscopía de absorción de UV-VIR-IR.

R10868- SCFI-2017	
PROY- NMX- R13121- SCFI	Evaluación de riesgos en nanomateriales.
PROY- NMX- R16197- SCFI-2018	Nanotecnologías - Compendio y descripción de métodos toxicológicos y ecotoxicológicos de detección para nanomateriales manufacturados.
PROY- NMX- R20660- SCFI-2018	Nanotecnologías - Especificación de materiales - nanopartículas de plata antibacteriales.

En palabras de Saldívar, (2020), la postura en México al respecto de normas es más laxa, se deja ver que el sector industrial elige no regular o no de forma que limite sus operaciones; los órganos reguladores no tienen las herramientas para hacerlo y pareciera que no quieren asumir responsabilidades que por el momento no están en capacidad de solventar. Por otro lado, en el sector académico, de manera general sí se considera necesaria la regulación, pero sobre qué tipo de regulación es algo que no se tiene claro. En la Red de Nanociencia y Nanotecnología (RNYN) del Conacyt, coinciden principalmente nano tecnólogos y científicos y algunos representantes de la iniciativa privada y del gobierno, en una reunión a finales del 2012, se reconoció “la necesidad de una regulación oportuna en materia de nanotecnología, y la elaboración de normas para su desarrollo, para la protección de los trabajadores y la sociedad” (rnyn, 2012).

4.2 Normatividad internacional

En el Banco Internacional para el Desarrollo y Reconstrucción (2007) se menciona que es inevitable el desarrollo de instrumentos legales que permiten orientar las actividades sociales y económicas a través de ordenar el comportamiento de individuos y

organizaciones para que las políticas económicas y sociales se conviertan en resultados plausibles y fiables ante el acelerado avance en nanociencia y nanomateriales. En la gobernanza de nuevas tecnologías como la nanotecnología, hoy en día se generan nuevos arreglos regulatorios, algunos propuestos desde el sector público, otros desde el privado y otros mixtos, elaborados con el común denominador de superar las limitaciones de la regulación tradicional (Abbot, Marchant y Corley, 2012).

Tabla 7. Normatividad internacional aplicable a la nanotecnología. Adaptada de Saldivar, 2020.

	Obligatorias	Voluntarias	Supra/internacional
EUA - Leyes: Toxic Substances Control Act (TSCA).	CE - Reglamento de registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH).	-	-
Francia: Código del Medio Ambiente, Declaración anual de las sustancias a la nanoescala fabricadas.	CE: Reglamentos sobre: información alimentaria facilitada al consumidor; seguridad de productos y cosméticos.	-	-
EUA - EPA: Nanoscale	-	UE: Código de conducta	Guías OCDE.

Materials Stewardship Program. Mex. - NMx para las NTs		para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y las nanotecnologías.	
RU - Responsible Nano Code.	-	NanoRisk Framework	Normas ISO/TC-229.
EUA - Responsible Care® Product safety Code	-	-	BASF Code of Conduct Nanotechnology

A fin de analizarla las formas de regular la materia a escala nano, podemos dividir la regulación de la nanotecnología y sus productos obligatoria o vinculante y voluntaria o flexible o también de acuerdo con el nivel de implementación, tipo de emisores y tipo de cobertura. Lo cual quiere decir, que puede ir desde prohibiciones y moratorias, pasando por incentivos o multas, hasta llegar a las guías, estándares, etiquetados o los reportes voluntarios (Ramachandran & et al., 2011).

La regulación voluntaria surge como una forma de autorregulación; una alternativa a las leyes y políticas regulatorias de comando y control tradicionales (Saldívar, 2020; Arnaldi, 2014).

Esta, generalmente es complementaria a la normativa existente y no pocas veces surge ante el vacío presente. La regulación voluntaria, además puede volverse obligatorias y/o modifican las expectativas de lo que es un comportamiento apropiado (Saldívar, T., 2020). Las iniciativas voluntarias se pueden clasificar en: 1) registros; 2) etiquetados; 3) códigos de conducta; 4) sistemas de manejo de riesgo; 5) guías, y, 6) estándares técnicos (Saldívar, T., 2020; Abbott & et al., 2012; Kika & et al., 2012; STOA, 2012;).

Tabla 8. Ejemplos de tipos de regulación blanda internacional para la nanotecnología.
Adaptado de Saldívar, T., 2020, a partir de STOA (2012).

Tipo	Ejemplos	Aurores
Registro	<ul style="list-style-type: none"> • Voluntary Reporting Scheme for Engineered Nanoscale Materials. • Nanoscale Materials Stewardship Program (NMSP). • Swiss Nano-Inventory. 	<p>DEFRA, 2006- 2008.</p> <p>EPA, 2008.</p> <p>IST, Suecia.</p>
Etiquetado	<ul style="list-style-type: none"> • Norma técnica mexicana sobre nano-etiquetado NMX-R-13830-SCFI-2014.1 	<p>SE, 2014.</p>
Código de conducta	<ul style="list-style-type: none"> • Code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research de la Comunidad Europea. • Responsible Nano Code. <ul style="list-style-type: none"> • Responsible Care. • BASF Code of Conduct Nanotechnology. • IG-DHS Code of Conduct Nanotechnology. 	<p>(CCE, 2008).</p> <p>RS, II, NIA y Nano.</p> <p>KTN.</p> <p>ICCA, 2006.</p> <p>BASF, 2004.</p> <p>Syndicate of Swiss retailers.</p>
Sistema de manejo de riesgos	<ul style="list-style-type: none"> • Certifiable Nanospecific Risk Management and Monitoring System (CENARIOSs.) • Criteria for a preliminary assessment (NanoKommission) • NanoRisk Framework. 	<p>Innovationsgesellschaft y TÜV-SÜD.</p> <p>FOPH y FOEN, 2008.</p> <p>EDF, Dupont, 2007.</p> <p>FOPH, FOEN, 2008.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials. 	
Guías	<ul style="list-style-type: none"> • Foresight Guidelines for Responsible Nanotechnology Development. • Guías OCDE 	<p>Foresight Institute, 2006.</p> <p>OCDE</p>
Estándares técnicos	<ul style="list-style-type: none"> • Estándares ISO / TC 229 en nanotecnología 	<p>(ISO), 2019.</p>

El proceso de elaboración de normas voluntarias comenzó en diciembre del 2003, con la creación del United Working Group for Nanomaterials Standardization tanto a nivel nacional, como regional e internacional. En la actualidad, los principales organismos normalizadores son la ISO, la International Electrotechnical Commission (IEC); la American National Standards Institute (ANSI); la CODEX ALIMENTARIUS international food standards (CODEX), la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), la American Society for Testing and Materials (ASTM) que desarrolla normas y directrices para la NT y los NMs.

En América existe la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). Es importante mencionar que los miembros de la COPANT, un gran número de ellos son hispanohablantes y tienen el derecho a adoptar las normas mexicanas como suyas, con el ahorro de los recursos para su traducción. En Europa operan la European Telecommunications Standards Institute (ETSI), la European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) y la European Committee for Standardization (CEN), los cuales crearon un comité técnico en nanotecnología (CEN/TC 352). Estas tres desarrollaron la Estrategia Europea de Normalización para las nanotecnologías, la cual tiene como prioridad, lograr la clasificación, la terminología y la nomenclatura de los nanomateriales y la metrología, incluidos los métodos de muestreo y medición de las normas europeas (Saldívar, T., 2020; Ponce del Castillo, 2010). A partir de estos, podemos destacar los avances que se ha tenido internacionalmente en la rama de la nanotecnología.

Tabla 9. Principales avances en materia de nanotecnología de diferentes órganos normalizadores. Adaptada de (Saldívar, T., 2020; Saldívar-Tanaka, 2019). Elaborada a partir de Hatto, An introduction to standards and standardization for nanotechnologies, en: AFI.WRI, 2010.

Año	País, órgano y avance
Diciembre 2003	China crea el United Working Group for Nanomaterials Standardization
2004 marzo Mayo Agosto Octubre Noviembre Diciembre	<ul style="list-style-type: none"> – Propuesta para CEN/BTWG aprobada – Reino Unido (RU) secretariado. – RU establece NTI/1 comité nacional. – ANSI forma el panel de estándares en nanotecnología en los EUA. – RU comienza trabajo en PAS 71 – Vocabulario para NPs. – Japón establece un grupo de estudio para la estandarización de la NT. – China publica 7 estándares nacionales en NT.
2005 enero Abril Junio Noviembre	<ul style="list-style-type: none"> – RU presenta una propuesta para un comité ISO de NT a ISO. – China implementa los estándares de NT publicados. – ASTM International aprueba el establecimiento del comité E56 que desarrolla normas y directrices para la nanotecnología y los nanomateriales. – ISO confirma el establecimiento del TC 229. – RU publica PAS 71, vocabulario. – CEN/BT/WG 166 lanza la estrategia europea al CEN/BT. – Reunión inaugural de ISO/TC 229. – CEN establece el comité técnico CEN/TC 352 – Nanotechnologies
2006 enero Abril Mayo	<ul style="list-style-type: none"> – RU presenta el primer NWIP al TC 229 – vocabulario para nanopartículas. – Primera reunión del CEN/TC 352 (acuerdan colaborar cercanamente con el ISO/TC 229).

	– IEC acuerda establecer el comité técnico TC 113 en el campo de NT.
2007	2do, 3er, 4ta y 5ta reunión de la ISO/TC 229
2008 enero	BSI, 6 publicaciones en terminología y otros 3 documentos guía.
2019	ISO ha publicado 69 normas técnicas en materia de NT.

En palabras de algunos juristas, se señala: que la normalización técnica ha superado a la norma jurídica en la medida en que contribuye a concretar los conceptos jurídicos indeterminados propios del conocimiento científico; asimismo, ha facilitado el intercambio y la circulación de productos, de bienes y servicios sin necesariamente proteger aspectos socioambientales ni incluir la participación de consumidores, trabajadores y ambientalistas, a pesar de suponer una producción multilateral consensuada (Saldívar, T., 2020; Moles, 2001).

CONCLUSIONES

Se estableció que el impacto que la utilización de sistemas nanoestructurados poliméricos funcionalizados en la conservación de pulpas de frutas es elevado, dado al incremento en la vida útil del producto, tanto en incorporación directa como en la aplicación en envases activos e inteligentes.

La descripción de las características principales de sistemas nanoestructurados como morfología, tamaño promedio de partícula, índice de polidispersión, potencial zeta y estabilidad física ayuda al lector a poder elegir las opciones viables para aplicación de estos sistemas en el incremento de la vida útil de pulpas de fruta.

El análisis de la información publicada en revistas indizadas sobre la aplicación de sistemas nanoestructurados poliméricos en pulpas de fruta y su efecto en el incremento de vida útil fue útil para la determinación de posibles caminos o vías de seguimiento de nuevas formas de conservación de pulpas de frutas, en contraste con tecnologías convencionales.

El estado del arte en cuanto a la legislación vigente de sistemas nanoestructurados en su utilización en el procesamiento de alimentos es aún limitada, por lo cual se sugiere que se tome en consideración en la aplicación directa de sistemas nanoestructurados en pulpas de fruta la legislación vigente de los componentes a macro escala en lo que se tienen nuevos documentos que evidencien aún más la seguridad alimentaria de estos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, K. W., Marchant, G. E., & Corley, E. A. (2012). Soft law oversight mechanisms for nanotechnology. *Jurimetrics*, 279-312.
- AENOR (2006). Normalización sobre nanotecnologías. 3rd NanoSpain Workshop – Working Group Industrial, 36.
- AFI-WRI. (2010). The role of ISO in the governance of nanotechnology. Oslo.
- Agarwal, A., Lvov, Y., Sawant, R., Torchilin, V., 2008. Stable nanocolloids of poorly soluble drugs with high drug content prepared using the combination of sonication and layer-by-layer technology. *J. Control. Release* 128, 255–260.
- Agoulon, A. (2012). Impacto de los parámetros de congelación en las características de los alimentos. Barcelona.
- Ai, H., Gao, J., (2004). Size-controlled polyelectrolyte nanocapsules via layer-by-layer self-assembly. *J. Mater. Sci.* 39, 1429–1432.
- Andrievski RA, Glezer AM. (2001). Size effects in properties of nanomaterials. *Scr Materi*; 44:1621–4.
- Antipov, A.A., Sukhorukov, G.B., Leporatti, S., Radtchenko, I.L., Donath, E., Möhwald, H., (2002). Polyelectrolyte multilayer capsule permeability control. *Colloid Surf. A* 198–200, 535–541.
- Anton, N., Benoit, J.P., Saulnier, P., (2008). Design and production of nanoparticles formulated from nano-emulsion templates—a review. *J. Control. Release* 128, 185–199.
- Anu Bhushani, J., and Chinnaswamy Anandharamakrishnan. (2014). Electrospinning and electrospraying techniques: Potential food based applications. *Trends in Food Science and Technology* 38 (1):21–33.
- Arauco Grandez, C. F., Bayona Romero, K. V., Calderón Millones, C. C., Paredes Iglesias, R. E., & Torrin Huapaya, G. S. (2018). Pulpa de fruta “La Pulposa”.
- Arnaldi, S. (2014). ¿Qué tan suave debería ser? Identidades sociales y opciones regulatorias en las opiniones de los stakeholders italianos. *Mundo Nano*, 7(13), México: 6-27.

- Arpagaus, Cordin (2012). A novel laboratory-scale spray dryer to produce nanoparticles. *Drying Technology* 30 (10): 1113–21.
- Barrera Bello, E., Gil Loaiza, M., García Pajón, C., Pajón, G., Durango Restrepo, D., & Gil González, J. (2012). Empleo de un Recubrimiento Formulado con Propóleos para el Manejo Poscosecha de Frutos de Papaya (Carica papaya L. cv. Hawaiana). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 65(1), 6497–6506. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n1/v65n1a20.pdf>
- Barreiro, J. A., & Sandoval, A. J. (2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. *Equinoccio*.
- Barrenechea León, Francisco, et al. (2017). "Elaboración y comercialización de pulpa de fruta congelada."
- Bilati, U., Allémann, E., Doelker, E., (2005). Nanoprecipitation versus emulsion based techniques for the encapsulation of proteins into biodegradable nanoparticles and process-related stability issues. *AAPS Pharmscitech* 6, E594–E604.
- Calvo, P., Vila-Jato, J.L., Alonso, M.J., (1997). Evaluation of cationic polymer-coated nanocapsules as ocular drug carriers. *Int. J. Pharm.* 153, 41–50. Cattani, V.B.,
- Caparino, O.A., J. Tang, C.I. Nindo, S.S. Sablani, J.R. Powers, J.K. Fellman. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *J. Food Eng.* 111(1), 135–148.
- Cerqueira, Miguel A., Ana C. Pinheiro, Hélder D. Silva, Philippe E. Ramos, Maria A. Azevedo, María L. Flores-López, Melissa C. Rivera, Ana I. Bourbon, Óscar L. Ramos, and António A. Vicente. (2014). Design of bio-nanosystems for oral delivery of functional compounds. *Food Engineering Reviews* 6 (1–2): 1–19
- Cerqueira, Miguel A., Ana C. Pinheiro, Oscar L. Ramos, Hélder Silva, Ana I. Bourbon, and António Augusto Vicente (2017). Chapter Two—Advances in food nanotechnology. In *Micro and Nano Technologies*, edited by Rosa Busquets, Elsevier, Boston, 11–38, *Emerging Nanotechnologies in Food Science*, ISBN 9780323429801, <http://doi.org/10.1016/B978-0-323-42980-1.00002-9>.
- Charfi, S., Boujida, N., Abrini, J., & Senhaji, N. S. (2019). Study of chemical composition and antibacterial activity of Moroccan *Thymbra capitata* essential oil and its possible use in orange juice conservation. *Materials Today: Proceedings*, 13, 706–712. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.031>

- Chau, C.-F. (2015). An introduction to food nanotechnology. In Handbook of Food Chemistry, P. C. K. Cheung and B. M. Mehta, eds. (Springer, Heidelberg), pp. 1087–1101.
- Chen, Y., Lin, X., Park, H., Greever, R., (2009). Study of artemisinin nanocapsules as anticancer drug delivery systems. Nanomedicine: NBM, doi:10.1016/j.nano.2008.12.005.
- Chi-Fai C, Shiuan-Huei W, Gow-Chin Y (2007). The development of regulations for food nanotechnology. Trends Food Sci Technol 18(5):269–280
- Correa-Pacheco, Z. N., Bautista-Baños, S., Valle-Marquina, M. Á., & Hernández-López, M. (2017). The Effect of Nanostructured Chitosan and Chitosan-thyme Essential Oil Coatings on Colletotrichum gloeosporioides Growth in vitro and on cv Hass Avocado and Fruit Quality. Journal of Phytopathology, 165(5), 297–305. <https://doi.org/10.1111/jph.12562>
- Crucho CIC, Barros MT (2017). Polymeric nanoparticles: a study on the preparation variables and characterization methods. Mater Sci Eng C 80:771–784
- CTNNN. (2019). Las normas para las nanotecnologías en México. V. Marzo. Comité Técnico Nacional de Normalización en Nanotecnologías y Comité de Normalización Internacional Espejo del ISO TC 229 Nanotechnologies
- Duncan TV (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. J Colloid Interface Sci 363:1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>
- Edelstein AS, Murday JS, Rath BB. (1997). Challenges in nanomaterials design. Prog Mater Sci;42:5–21.
- El-Say KM, El-Sawy HS (2017). Polymeric nanoparticles: promising platform for drug delivery. Int J Pharm 528:675–691. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.06.052>
- Etemadipoor, R., Ramezani, A., Mirzaalian Dastjerdi, A., & Shamili, M. (2019). The potential of gum arabic enriched with cinnamon essential oil for improving the qualitative characteristics and storability of guava (Psidium guajava L.) fruit. Scientia Horticulturae, 251(March), 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.021>

- Feynman R. (1959). There's plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of physics. Lecture at California Institute of Technology
- Fellows, P. (2007). *Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y práctica*. España: Acribia.
- Foresight Institute. Is the revolution real? Debating the future of nanotechnology. Foresight Institute Commentary and FAQ.
- G, -Suárez A, A, -Márquez M, & A, -Vargas A. (2015). Desarrollo de un recubrimiento con efecto... DESARROLLO DE UN RECUBRIMIENTO CON EFECTO ANTIFÚNGICO Y ANTIBACTERIAL A BASE DE ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO PARA CONSERVACIÓN DE PAPAYA "MARADOL." *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 16(1), 58–63.
- Gamez-Villazana, J., & García-Rujano, T. (2012). Efecto de la congelación sobre algunas características físicas y químicas en la pulpa de la parcha real (*Passiflora quadrangularis* L.). *Bioagro*, 24(1), 61-64.
- Gander, B., Blanco-Príeto, M.J., Thomasin, C., Wandrey, Ch., Hunkeler, D., (2002). Coacervation/phase separation. In: Swarbrick, J., Boylan, J.C. (Eds.), *Encyclopedia of Pharmaceutical Technology*. Marcel Dekker, New York, pp. 481–496
- García, Á., Félix, R., Ríos, M., & Sánchez, L. (2016). *Nanotecnología en alimentos. Análisis, calidad y procesamiento de los alimentos*.
- García, O., & Pinzón, M. (2016). EFECTO DE RECUBRIMIENTOS DE ALMIDÓN DE PLÁTANO GUAYABO (*Musa paradisiaca* L.) EN LA CALIDAD DE FRESAS. 24(39), 92–102.
- Garti, N., (1997). Double emulsions—scope, limitations and new achievements. *Colloid Surf. A* 123/124, 233–246.
- Geankoplis, C. (1998). "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias". 3a ed. Compañía Editorial Continental. México.
- Gref R, Domb A, Quellec P, Blunk T, Müller RH, Verbavatz JM, Langer R (2012) The controlled intravenous delivery of drugs using PEG-coated sterically stabilized nanospheres. *Adv Drug Deliv Rev* 64:316–326. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.008>
- Grigoriev, D., Miller, R., (2009). Mono- and multilayer covered drops as carriers. *Curr. Opin. Colloid Interf. Sci.* 14, 48–59.

- Ghorani, Behrouz, and Nick Tucker (2015). Fundamentals of electrospinning as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology. *Food Hydrocolloids* 51:227–240.
- Gómez, M. D. R. J., & Montes, A. H. (2009). IRRADIACIÓN GAMMA COMO TRATAMIENTO CUARENTENARIO EN FRUTOS DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) Y LOS CAMBIOS EN SU CALIDAD. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1(1).
- González-Reza, R. M., Zambrano-Zaragoza, M. L., & Hernández-Sánchez, H. (2019). Polymeric Nanoparticles in Foods. In *Nanotechnology in the Life Sciences* (pp. 217–233). https://doi.org/10.1007/978-3-030-16379-2_8
- Guinebretière, S., (2001). Nanocapsules par emulsion–diffusion de solvant: obtention, caractérisation et mécanisme de formation. Ph.D. Thesis. Université Claude Bernard-Lyon 1, Francia.
- Hassan Z, Lai CH (1984). Editors. Ideals and realities: selected essays of Abdus Salam. Singapore: World Scientific.
- Huang, S., Wang, L., Liu, L., Hou, Y., and Li, L. (2015). Nanotechnology in agriculture, livestock, and aquaculture in China: A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 369–400.
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. ProQuest Ebook Central
- Instituto Nacional de la Economía Social. (2017). Las mejores frutas se cultivan en México.
- Iriarte Gómez, Damaris (2019). "Avances en tecnología de producción y conservación de pulpas de frutas." Bogotá.
- Jaiswal, S. (2016). Applications of nanotechnology in food processing and packaging. *INROADS—Int. J. Jaipur Natl. Univ.* 5, 45.
- Kaur Bhullar, Sukhwinder, Burçak Kaya, and Martin Byung-Guk (2015). Development of bioactive packaging structure using melt electrospinning. *Journal of Polymers and the Environment* 23: 416–23.
- Kaur, G., Singh, T., and Kumar, A. (2012). Nanotechnology: A review. *Int. J. Educ. App. Res.* 2, 50–53.

- Khoe, S., Yaghoobian, M., (2008). An investigation into the role of surfactants in controlling particle size of polymeric nanocapsules containing penicillin-G in double emulsion. *Eur. J. Med. Chem.*, doi:10.1016/j.ejmech.2008.09.045.
- Kika, E. y Bowman, D. (2012). Regulation by means of standardization: key legitimacy issues of health and safety nanotechnology standards. *Jurimetrics*, 53 (1): 11-56.
- Krause, H.J., Rohdewald, P., (1985). Preparation of gelatin nanocapsules and their pharmaceutical characterization. *Pharm. Res.* 5, 239–243.
- Lertsutthiwong, P., Rojsitthisak, P., Nimmannit, U., (2008). Preparation of turmeric oil-loaded chitosan-alginate biopolymeric nanocapsules. *Mater. Sci. Eng. C*, doi:10.1016/j.msec.2008.08.004.
- Limayem, I., Charcosset, C., Sfar, S., Fessi, H., (2006). Preparation and characterization of spironolactone-loaded nanocapsules for paediatric use. *Int. J. Pharm.* 325, 124–131
- Lu, Mengqian, Adem Ozcelik, Christopher L. Grigsby, Yanhui Zhao, Feng Guo, Kam W. Leong, and Tony Jun Huang. (2016). Microfluidic hydrodynamic focusing for synthesis of nanomaterials. *Nano Today* 11 (6): 778–92.
- Lutter, S., Koetz, J., Tiersch, B., Boschetti de Fierro, A., Abetz, V., (2008). Formation of gold nanoparticles in triblock terpolymer-modified inverse microemulsions. *Colloid Surf. A* 329, 160–176.
- Madrid Chumacero, A. F. (2010). Técnicas modernas de conservación de pulpas de frutas, equipos que se emplean, efecto combinado de vaporización e irradiación gamma sobre la calidad de pulpa de mango almacenada en temperatura refrigerada, elaboración moderna de néctares, frutas en almíbar, cóctel de frutas, equipos que se emplean en la elaboración moderna de conservas de frutas. Perú.
- Magnuson, B. A., Jonaitis, T. S., Card, J. W. (2011). A brief review of the occurrence, use, and safety of food-related nanomaterials. *Journal of Food Science.* 76 (6):R126-R133.
- Martínez-González, M. del C., Bautista-Baños, S., Correa-Pacheco, Z. N., Corona-Ragel, M. L., Ventura-Aguilar, R. I., Río-García, J. C., & Ramos-García, M. de L. (2020). Effect of Nanostructured Chitosan / Propolis Coatings Strawberries During Storage. *Coatings*, 10, 1–12.
- McHugh, T. H. (2000). Protein-lipid interactions in edible films and coatings.

Food/Nahrung, 44(3), 148-151.

Mishra, S., Keswani, C., Abhilash, P. C., Fraceto, L. F., and Singh, H. B. (2017). Integrated approach of agrinotechnology: Challenges and future trends. *Front. Plant Sci.* 8, 1–12.

Miyawaki, O. (2018). Water and freezing in food. *Food Science and Technology Research*, 24(1), 1-21.

Moinard-Chécot, D., Chevalier, Y., Brianc, on, S., Beney, L., Fessi, H., (2008). Mechanism of nanocapsules formation by the emulsion–diffusion process. *J. Colloid Interf. Sci.* 317, 458–468.

Moles, I. (2001). Derecho y calidad. El régimen jurídico de la normalización técnica. España: Ariel Derecho

Mora-Huertas CE, Fessi H, Elaissari A (2010). Polymer-based nanocapsules for drug delivery. *Int J Pharm* 385:113–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2009.10.018>

Mukhopadhyay, S. S. (2014). Nanotechnology in agriculture: Prospects and constraints. *Nanotechnol. Sci. Appl.* 7, 63–71.

Murmu, S. B., & Mishra, H. N. (2018). The effect of edible coating based on Arabic gum, sodium caseinate and essential oil of cinnamon and lemon grass on guava. *Food Chemistry*, 245, 820–828. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.104>

Nair, M. S., Saxena, A., & Kaur, C. (2018). Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 240(July 2017), 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.122>

Nascimento, J. I. G., Stamford, T. C. M., Melo, N. F. C. B., Nunes, I. dos S., Lima, M. A. B., Pintado, M. M. E., Stamford-Arnaud, T. M., Stamford, N. P., & Stamford, T. L. M. (2020). Chitosan–citric acid edible coating to control *Colletotrichum gloeosporioides* and maintain quality parameters of fresh-cut guava. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 1127–1135. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.067>

Nie, Z., Huang, Q., Chen, C., Wan, C., & Chen, J. (2020). Chitosan coating alleviates postharvest juice sac granulation by mitigating ROS accumulation in harvested pummelo (*Citrus grandis* L. Osbeck) during room temperature storage. *Postharvest*

- Biology and Technology, 169(July), 111309.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111309>
- Nogueira de Assis, D., Furtado, V.C., Carneiro, J.M., Spangler, M., Nascimento, V., (2008). Release profiles and morphological characterization by atomic force microscopic and photon correlation spectroscopy of 99mTechnetium-fluconazole nanocapsules. *Int. J. Pharm.* 349, 152–160.
- Organización Mundial de la Salud (2008). Red Internacional de Autoridades en materia de Inocuidad de los Alimentos (INFOSAN). Nanotecnología.
- Paiphansiri, P. Tangboriboonrat, K. Landfester, (2006). Polymeric nanocapsules containing an antiseptic agent obtained by controlled nanoprecipitation onto water-in-oil miniemulsion droplets, *Macromol. Biosci.* 6 33–40.
- Panorama_Agroalimentario_2022.pdf. (2022). Google Docs. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/1jVWS4EFKK7HGwQOBpGeljUyaDT8X8Iyz/view>
- Pathakoti K, Manubolu M, Hwang HM (2017). Nanostructures: current uses and future applications in food science. *J Food Drug Anal* 25:245–253.
<https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.02.004>
- Piccinno, Fabiano, Fadri Gottschalk, Stefan Seeger, and Bernd Nowack. (2012). Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials in Europe and the world. *Journal of Nanoparticle Research* 14 (9): 1109.
- Pohlmann, A.R., Costa, T.D., (2008). Pharmacokinetic evaluation of indomethacin ethyl ester-loaded nanoencapsules. *Int. J. Pharm.* 363, 214–216.
- Ponce del Castillo, A. (2010). The EU approach to regulating nanotechnology. Brussels. European Trade and Union Institute, Bruselas
- Prakash, B., Kujur, A., Yadav, A., Kumar, A., Singh, P. P., & Dubey, N. K. (2018). Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system. *Food control*, 89, 1-11.
- Prego, C., Fabre, M., Torres, D., Alonso, M.J., (2006). Efficacy and mechanism of action of chitosan nanocapsules for oral peptide delivery. *Pharm. Res.* 23, 549–556
- QuimiNet (2009). Frutas tropicales, Pulpa de fruta. Información y negocios segundo a segundo. <https://www.quiminet.com/articulos/frutas-tropicales-pulpa-de-fruta>

36357.htm#:~:text=La%20Pulpa%20de%20Fruta%20puede,,%20helados,%20sorbetes%20y%20refrescos.

- Quintanar, D., Allémann, E., Fessi, H., Doelker, E., (1998a). Preparation techniques and mechanisms of formation of biodegradable nanoparticles from preformed polymers. *Drug Dev. Ind. Pharm.* 24, 1113–1128.
- Quintanar, D., Allémann, E., Doelker, E., Fessi, H., (1998b). Preparation and characterization of nanocapsules from preformed polymers by a new process based on emulsification–diffusion technique. *Pharm. Res.* 15, 1056–1062.
- Quintanar, D., Fessi, H., Doelker, E., Alleman, E., (2005). Method for preparing vesicular nanocapsules. US Patent 6884438, 26 April.
- Quintanilla-Carvajal, M. X., Camacho-Díaz, B. H., Meraz-Torres, L. S., Chanona-Pérez, J. J., Alamilla-Beltrán, L., Jiménez-Aparicio, A., & Gutiérrez-López, G. F. (2010). Nanoencapsulation: a new trend in food engineering processing. *Food Engineering Reviews*, 2(1), 39-50.
- Quirós, Jennifer, Karina Boltes, and Roberto Rosal. (2016). Bioactive applications for electrospun fibers. *Polymer Reviews* 3724 (August): 631–67.
- Rai M, Ribeiro C, Mattoso L, Duran N (2015). Nanotechnologies in food and agriculture. *Nanotechnologies Food Agric*:1–347. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14024-7>
- Radi, M., Ahmadi, H., & Amiri, S. (2022). Effect of Cinnamon Essential Oil-Loaded Nanostructured Lipid Carriers (NLC) Against *Penicillium Citrinum* and *Penicillium Expansum* Involved in Tangerine Decay. *Food and Bioprocess Technology*, 15(2), 306–318. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02737-5>
- Radtchenko, I.L., Sukhorukov, G.B., Leporatti, S., Khomutov, G.B., Donath, E., Möhwald, H., (2000). Assembly of alternated multivalent ion/polyelectrolyte layers on colloidal particles. Stability of the multilayers and encapsulation of macromolecules into polyelectrolyte capsules. *J. Colloid Interf. Sci.* 230, 272– 280.
- Radtchenko, I.L., Sukhorukov, G.B., Möhwald, H., (2002a). Incorporation of macromolecules into polyelectrolyte micro- and nanocapsules via surface controlled precipitation on colloidal particles. *Colloid Surf. A* 202, 127–133.
- Radtchenko, I.L., Sukhorukov, G.B., Möhwald, H., (2002b). A novel method for encapsulation of poorly water-soluble drugs: precipitation in polyelectrolyte multilayer shells. *Int. J. Pharm.* 242, 219–223.

- Ramachandran, G., Wolf, S. M., Paradise, J., Kuzma, J., Hall, R., Kokkoli, E., & Fatehi, L. (2011). Recommendations for oversight of nanobiotechnology: dynamic oversight for complex and convergent technology. *Journal of Nanoparticle Research*, 13(4), 1345-1371.
- Ramírez, R. (2013). Tecnología de Frutas y Hortalizas. Duitama
- Red Nanociencia y Nanotecnología (2012). Iniciativa para el desarrollo de la nt en México. Monterrey, 27 y 28 de Nov. (Memoria).
- Rivera-Gutiérrez, R. G., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., Betancourt-Galindo, R., Yescas-Coronado, P., & Orozco-Vidal, J. A. (2021). Nanoparticulas de óxido de zinc y su efecto en el rendimiento y calidad de melón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 791–803. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2987>
- Sablon, K., (2008). Single-component polymer nanocapsules for drug delivery application. *Nanoscale Res. Lett.* 3, 265–267
- Saldívar-Tanaka, L. (2019). Regulando la nanotecnología. *Mundo Nano*. 12(22): 1-21e. México.
- Saldívar Tanaka, L. (2020). Regulación blanda, normas técnicas y armonización regulatoria internacional, para la nanotecnología. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 13(24).
- Sekhon, B. S. (2014). Nanotechnology in agri-food production: An overview. *Nanotechnol. Sci. Appl.* 7, 31–53.
- Shaju, G. (2021). Ohmic Heating Technology—A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(12), Art. 12. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2021.1012.020>
- Silva, Hélder Daniel, Miguel A. Cerqueira, and António Augusto Vicente. (2015). Nanoemulsions: Nanoemulsions-based systems for food Applications. In *CRC Concise Encyclopedia of Nanotechnology*, edited by Boris Ildusovich Kharisov, Oxana Vasilievna Kharissova, Ubaldo Ortiz-Mendez, 703–11. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Srinivas, P. R., Philbert, M., Vu, T. Q., Huang, Q., Kokini, J. L., Saos, E., Chen, H. et al. (2010). Nanotechnology research: Applications in nutritional sciences. *J. Nutr.* 140, 119–124

- STOA. (2012). NanoSafety - Risk Governance of Manufactured Nanoparticles. Final report, Science and Technology Options Assessment (STOA), European Parliament
Fleischer To. 129 pp
- Sukhorukov, G.B., Donath, E., Lichtenfeld, H., Knippel, E., Knippel, M., Budde, A., Möhwald, H., (1998). Layer-by-layer self assembly of polyelectrolytes on colloidal particles. *Colloid Surf. A* 137, 253–266.
- Tahir, H. E., Xiaobo, Z., Jiyong, S., Mahunu, G. K., Zhai, X., & Mariod, A. A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 42(3), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12527>
- Tecnología Educativa. *Congelador de aire forzado y lecho fluidizado* - FT36 <https://tecnoedu.com/Armfield/FT36.php>
- Tigueros, J. A., Londoño, S. P., Girón, J. M., & Santos, L. E. O. (2021). Diferentes métodos de escaldado y su aplicación en frutas y verduras. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 8(1), 50-63.
- Tinkle, S., Teague, C., Earles, T., & Holdridge, G. (2009). The National Nanotechnology Initiative: Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry, Supplement to the President's 2010 Budget.
- Tinoco, M. B. (2015). *ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD Y SEGURIDAD DE UN PURÉ DE KIWI PASTEURIZADO POR CALENTAMIENTO CONVENCIONAL O POR MICROONDAS* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València)
- Tirrell MV, Katz A, (2005).Editors. Self-assembly in materials synthesis. *MRS Bull*; 30.
- Torza, S., Mason, S.G., (1970). Three-phase interactions in shear and electrical fields. *J. Colloid Interf. Sci.* 33, 67–83
- Trierweiler, Luciane F., and Jorge O. Trierweiler. (2011). Industrial production of polymeric nanoparticles: Alternatives and economic analysis. In *Nanocosmetics and Nanomedicines*, 123–38. Springer, Berlin.
- Tsuzuki, Takuya. (2009). Commercial scale production of inorganic nanoparticles. *International Journal of Nanotechnology* 6 (5/6): 567.
- Uskoković, V. (2007). Nanotechnologies: What we do not know. *Technology in society*, 29(1), 43-61.

- Vázquez, Rafael (2017). sinanotox, a National System of Toxicological Evaluation of nanomaterials. (talk) iupac Workshop on Safety of Engineered Nanomaterials. 28 y 29 Sept. cenam Querétaro.
- Velasco Hernández, A. (2020). Evaluación de tratamientos térmicos moderados y altas presiones hidrostáticas sobre la seguridad microbiológica y calidad de pulpa de guanábana (*Annona muricata* L.).
- Vila, A., Sánchez, A., Tobío, M., Calvo, P., Alonso, M.J., (2002). Design of biodegradable particles for protein delivery. *J. Control. Release* 78, 15–24.
- Wautelet M. (2001). Scaling laws in the macro-, micro- and nanoworlds. *Eur J Phys*; 22:601–11.
- Whitesides G, Grzybowski B. (2002). Self-assembly at all scales. *Science*; 295:2418–21.
- Wilches, R. S. (2015). Tecnologías no térmicas en el procesado y conservación de alimentos vegetales. *Revista colombiana de investigaciones agroindustriales*, 2(1), 73-82.
- Xiao, H. W.; Pan, Z.; Deng, L. Z.; El-Mashad, H. M.; Yang, X. H.; Mujumdar, A. S.; ... Zhang, Q. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. *Information Processing in Agriculture*, 4(2), 101-127. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001>
- Zhang, L., Chen, F., Lai, S., Wang, H., & Yang, H. (2018). Impact of soybean protein isolate-chitosan edible coating on the softening of apricot fruit during storage. *Lwt*, 96(June), 604–611. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.011>
- Zurita Gallegos, R. M. (2011). Conservación de la Carne por el Método de Cocción al Vacío Riobamba 2010 (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).