



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Métodos y soportes para la inmovilización de componentes de aceites esenciales y su efecto sobre la actividad antimicrobiana y antioxidante

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN MÁSTER
UNIVERSITARIO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

ALUMNO: SANTIAGO CEBRIAN CABO

TUTOR ACADEMICO: EDGAR PÉREZ ESTEVE

COTUTORES: JOSÉ MANUEL BARAT BAVIERA
HÉCTOR GÓMEZ LLORENTE

Curso Académico: 2019/2020
VALENCIA, FECHA

MÉTODOS Y SOPORTES PARA LA INMOVILIZACIÓN DE COMPONENTES DE ACEITES ESENCIALES Y SU EFECTO SOBRE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA Y ANTIOXIDANTE

Santiago Cebrián Cabo¹, Héctor Gómez Llorente, José Manuel Barat Baviera, Édgar Pérez Esteve

RESUMEN

Los compuestos de aceites esenciales (eugenol, carvacrol, vainillina y timol) están siendo muy estudiados por sus excelentes propiedades antimicrobianas y antioxidantes para ser utilizados en tecnología de alimentos. Sin embargo, debido a sus propiedades fisicoquímicas (solubilidad, volatilidad, fuerte olor, sabor, aroma, baja estabilidad, etc), la adición directa de estos compuestos a un alimento conlleva una serie de limitaciones. Una solución a estos problemas pasaría por la inmovilización de estos compuestos bioactivos sobre nano y microestructuras. En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo estudiar los principales métodos y soportes para la inmovilización de componentes de aceites esenciales, para su posterior uso en la industria alimentaria. Los resultados demuestran que existen diversos tipos de soportes que pueden ser empleados para la inmovilización, siendo los más comunes los basados en polímeros, óxidos de metales y materiales cerámicos. Éstos difieren entre sí en tamaño, morfología, composición y capacidad para la funcionalización. De ellos destaca la sílice mesoporosa MCM-41 como el material más empleado, debido a su gran versatilidad y reactividad química. Respecto al método de anclado, la unión mediante enlace covalente ha demostrado ser la más eficaz. Esta revisión también demuestra que la inmovilización de aceites esenciales en soportes nano y microestructurados permite obtener compuestos biológicos compatibles con las condiciones de proceso (pH, temperatura y humedad) y ser reutilizables, adquiriendo un mayor rendimiento.

Palabras clave: Inmovilización, compuestos biológicos, aceites esenciales, eugenol, carvacrol, vainillina, timol, soportes, antioxidante y antimicrobiano.

RESUM

Els compostos d'olis essencials (eugenol, carvacrol, vainillina i timol) estan sent molt estudiats per les seves excel·lents propietats antimicrobianes i antioxidants per ser utilitzats en tecnologia d'aliments. No obstant això, a causa de les seves propietats fisicoquímiques (solubilitat, volatilitat, forta olor, sabor, aroma, baixa estabilitat, etc), l'addició directa d'aquests compostos a un aliment comporta una sèrie de limitacions. Una solució a aquests problemes passaria per la immobilització d'aquests compostos bioactius sobre nano i microestructures. En aquest context, el present treball té per objectiu estudiar els principals mètodes i suports per a la immobilització de components d'olis essencials, per al seu posterior ús en la

¹ Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València.

indústria alimentària. Els resultats demostren que hi ha diversos tipus de suports que poden ser emprats per a la immobilització, sent els més comuns els basats en polímers, òxids de metalls i materials ceràmics. Aquests difereixen entre si en grandària, morfologia, composició i capacitat per a la funcionalització. D'ells destaca la sílice mesoporosa MCM-41 com el material més emprat, per la seva gran versatilitat i reactivitat química. Respecte a mètode de ancorat, la unió mitjançant enllaç covalent ha demostrat ser la més eficaç. Aquesta revisió també demostra que la immobilització d'olis essencials en suports nano i microestructurats permet obtenir compostos biològics compatibles amb les condicions de procés (pH, temperatura i humitat) i ser reutilitzables, adquirint un major rendiment.

Paraules clau: Immobilització, compostos biològics, olis essencials, eugenol, carvacrol, vainillina, timol, suports, antioxidant i antimicrobià.

ABSTRACT

Essential oil compounds (eugenol, carvacrol, vanillin, and thymol) are being widely studied for their excellent antimicrobial and antioxidant properties for use in food technology. However, due to their physicochemical properties (solubility, volatility, strong smell, taste, aroma, low stability, etc.), the direct addition of these compounds to a food entails a series of limitations. A solution to these problems would be the immobilization of these bioactive compounds on nano and microstructures. In this context, the present work aims to study the main methods and supports for the immobilization of essential oil components, for their subsequent use in the food industry. The results show that there are various types of supports that can be used for immobilization, the most common being those based on polymers, metal oxides and ceramic materials. These differ from each other in size, morphology, composition and capacity for functionalization. Among them, the mesoporous silica MCM-41 stands out as the most used material, due to its great versatility and chemical reactivity. Regarding the anchoring method, the union by covalent bond has proven to be the most efficient. This review also demonstrates that the immobilization of essential oils in nano and microstructured supports allows obtaining biological compounds compatible with the process conditions (pH, temperature and humidity) and being reusable, acquiring a higher performance.

Keywords: Immobilization, biological compounds, essential oils, eugenol, carvacrol, vanillin, thymol, supports, antioxidant and antimicrobial.

1. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria tiene por objetivo poner en el mercado productos que satisfagan las necesidades nutricionales y no causen daños al consumidor. Para ello se utilizan métodos y operaciones de conservación y preservación, siendo las más utilizadas los tratamientos térmicos (escaldado, pasteurización, y esterilización) y la adición de aditivos conservantes.

Las operaciones térmicas (escaldado, pasteurización, esterilización), suponen un aporte de energía y calor a los alimentos, con la consiguiente desnaturalización o destrucción de los nutrientes y compuestos funcionales. Todo depende de la temperatura en que se realice el tratamiento sobre los alimentos (Pisoschi *et al.*, 2018). Sin embargo, a pesar de que se ha demostrado que los tratamientos térmicos dañan la integridad física, química y organoléptica de los alimentos (Lund *et al.*, 2012), son necesarios para la destrucción microbiana y garantizar la inocuidad alimentaria.

Con el fin de poder evitar estos tratamientos en los alimentos, se están investigando y desarrollando nuevos no térmicos, que cumplan la función de conservación y eliminación de los microorganismos. De esta manera, se disminuye la pérdida nutricional, organoléptica y estructural del alimento, asegurando la reducción de la flora microbiana. Ejemplificando lo anterior, los nuevos tratamientos son las altas presiones (Tewari, 2007) (Milani *et al.*, 2016), campos eléctricos (Walking-Ribeiro *et al.*, 2011), radiación ultravioleta (Lu *et al.*, 2010), ozono (Pandiselvam *et al.*, 2019) o ultrasonidos (Deng *et al.*, 2018). Aunque son técnicas muy eficientes, su aplicación es limitada, debido a que no eliminan los microorganismos del todo, tienen altos costes de inversión y mantenimiento de los equipos empleados. Sin embargo, reducen los cambios desfavorables en las propiedades organolépticas de los alimentos tratados (Yang *et al.*, 2016) por no sufrir el aporte de calor y energía.

El otro método utilizado para la conservación de los alimentos es el empleo de aditivos conservantes. Durante mucho tiempo en la industria alimentaria se han utilizado aditivos de origen químico (Abdulmumeen *et al.*, 2012). Son utilizados porque se ha demostrado que no son tóxicos en las cantidades adecuadas y cumplen funciones deseables en los alimentos (Ibáñez *et al.*, 2003). Se han empleado como antioxidantes y a modo de agentes antipardeamiento, según que alimentos, pero se está restringiendo su uso, debido a sus efectos en la salud y a que se están descubriendo nuevos ingredientes que cumplen la misma función, siendo más respetuosos con la salud humana (Silvia *et al.*, 2020). Las nuevas investigaciones arrojan un posible uso de compuestos naturales.

De esta manera, en los últimos años está cobrando importancia el uso de compuestos bioactivos, los cuales poseen propiedades antimicrobianas y antioxidantes, para extender su vida de los alimentos, sin dañar sus propiedades físico-químicas, nutricionales ni sensoriales. Concretamente, el grupo de aceites esenciales extraídos de plantas está despertando interés por los investigadores debido a los descubrimientos de sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes.

1.1. Compuestos bioactivos de los aceites esenciales

Los aceites esenciales son compuestos derivados del metabolismo secundario de las plantas que se caracterizan por ser altamente volátiles debido a su configuración química. Estos aceites deben ser extraídos de las plantas mediante destilación en agua o vapor y ser purificados para obtenerlos de forma que puedan ser empleados en alimentación. A su vez, estos aceites esenciales están formados por diferentes compuestos químicos (terpenos, terpenoides, carotenoides, curcuminas, etc.) conocidos como componentes de aceites esenciales (CAEs). Algunos de los componentes de aceites esenciales más conocidos son el eugenol, el carvacrol, la vainillina y el timol.

El **eugenol** ($C_{10}H_{12}O_2$) es un compuesto bioactivo de la familia de los fenilpropanos, que se encuentra en el clavo (*Syzygium aromaticum*), la nuez moscada (*Myristica fragrans*) y la canela (*Cinnamomum verum*). Es un líquido oleoso, poco soluble en agua, pero sí en solventes orgánicos (Alejandro, 2001). Este aceite esencial se utiliza en la industria farmacéutica y médica como antiséptico y anestésico. En la industria alimentaria, destaca como antioxidante (Woranuch y Yoksan, 2013). Su principal desventaja es su toxicidad (Gueretz *et al.*, 2017) la cual puede ser controlada ajustando la concentración en el alimento.

El **carvacrol** ($C_{10}H_{14}O$) es un aceite esencial del grupo fenolmonoterpenoide. Posee sabor picante y produce aroma a orégano (*Origanum vulgare*) y tomillo (*Thymus vulgaris*), de dónde es extraído (Liolios *et al.*, 2009). Su principal función es la de bacteriostático, atacando abundantes cepas de *Escherichia coli* y *Bacillus cereus*. Por esta razón, se utiliza como antimicrobiano, previniendo la contaminación por bacterias (Figiel *et al.*, 2010).

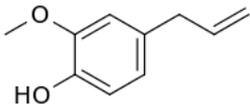
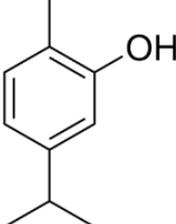
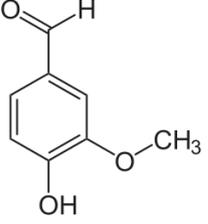
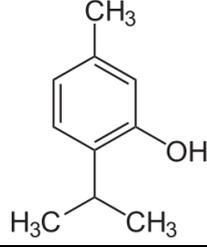
La **vainillina** ($C_8H_8O_3$) es un aceite esencial el cual posee tres grupos funcionales: un aldehído, un éter y un fenol. Es un aceite esencial blanco cristalino, soluble en cloroformo, éter e isopropanol (Ponnusamy *et al.*, 2009). Posee función antimicrobiana, razón de estudio e inmovilización (Stroescu *et al.*, 2015). Desde el punto de vista del origen, hay dos tipos, la natural, extraída de las vainas de vainilla (*Vanilla planifolia*), y la sintética, creada a partir de destilados de otros aceites esenciales como el eugenol. Esta última es la más empleada en aplicaciones alimentarias como saborizante y sustitutivo del aroma natural (Walton *et al.*, 2003). Es utilizada porque sería un coste económico excesivo formular con la natural.

El **timol** ($C_{10}H_{14}O$) es un aceite esencial presente en varias plantas de la naturaleza, pero sobre todo en el tomillo (*Thymus vulgaris*), el cual otorga al compuesto ese olor característico. Es un compuesto de color cristalino de aspecto viscoso y aceitoso. Pertenece al grupo de los terpenos (Guarda *et al.*, 2011). Es utilizado en la industria alimentaria como antimicrobiano para la destrucción de hongos y levaduras. También es un buen antioxidante natural.

En la **Tabla 1** se representan los esquemas de las moléculas de los compuestos de los aceites esenciales del estudio. Se puede observar como

todos ellos poseen un anillo aromático, característico de esta familia de moléculas naturales.

Tabla 1. Representación los esquemas de las moléculas de los compuestos de los aceites esenciales de estudio.

Esquema de los principales compuestos bioactivos			
<i>Eugenol</i>	<i>Carvacrol</i>	<i>Vainillina</i>	<i>Timol</i>
			

1.2. Propiedades de los componentes de aceites esenciales

A los componentes de aceites esenciales se les asocian, entre otros efectos, propiedades antimicrobianas y antioxidantes (Burt, 2004). Por tanto, la adición de estos compuestos a la formulación de alimentos puede ser una alternativa factible para sustituir a los antimicrobianos o conservadores sintéticos, ya que poseen elevada actividad antimicrobiana y antioxidante (Hernandez *et al.*, 2019).

A pesar de los esfuerzos desarrollados a nivel laboratorio e industrial, el mecanismo de acción antimicrobiana que presentan los componentes de aceites esenciales todavía no se ha concretado en su totalidad. Sin embargo, algunos modos de actuación propuestos son: el deterioro de los recubrimientos celulares (1); la despolarización de la membrana plasmática (2); el polimorfismo lipídico alterado (3); la interacción con las proteínas de membrana en bacterias Gram negativas (4); la alteración de los procesos respiratorios (5); la coagulación del material citoplasmático (6); la inhibición de la histidina descarboxilasa (7); el agotamiento del ATP intracelular (8) o por la supresión de toxinas microbianas (9), no está determinado cuál de todos actúa (Hyltdgaard *et al.*, 2012). De entre todos los existentes, el más aceptado hasta la fecha es que los aceites esenciales hacen reacción con los lípidos de las membranas celulares de los microorganismos. La interacción de estos compuestos con las membranas de las células microbianas causan la fuga de iones y contenido citoplasmático, por tanto, producen la descomposición y lisis celular de las bacterias (Burt, 2004; Ruiz-Rico *et al.*, 2018; Khorshidian *et al.*, 2018). Esto favorece que se aumente la permeabilidad, haciendo que migren los iones de dentro a fuera del contenido citoplasmático de la célula, provocando su muerte (Burt, 2004).

Por último, para que los compuestos bioactivos de los aceites esenciales actúen de forma adecuada, necesitan unas condiciones favorables como un pH bajo, temperaturas menores de 20°C y niveles bajos de oxígeno; las cuales se deben garantizar o por lo menos establecer factores límite (Prakash *et al.*, 2018). Se deben hacer estudios previos para conocer estas condiciones necesarias y poder aplicar de forma correcta los aceites esenciales, respetando su modo de acción, el efecto que tiene sobre los

distintos microorganismos y el efecto sobre la matriz alimentaria (Calo *et al.*, 2015).

1.3. Limitaciones de la aplicación directa de los aceites esenciales

Pese a su demostrada actividad antimicrobiana y antioxidante, la adición directa de los componentes de aceites esenciales a los alimentos presenta ciertas limitaciones derivadas de sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas. Entre ellas se puede citar:

- Baja solubilidad en agua, muchos de los alimentos en los que es posible aplicarlos son mayoritariamente agua (zumos, cervezas o refrescos) (Peña-Gómez *et al.*, 2020).
- Aroma y olor específico, no es que sea desagradable, pero es intenso, dulce, astringente y amargo, haciendo que destaque entre cualquier sabor o aroma (Walton *et al.*, 2003, Castillo, 2019).
- Alta volatilidad, es difícil su aplicación en alimentos los cuales no es posible hacer que no migren hacia el exterior (Alejandro, 2001).
- En concentraciones altas son tóxicos (Hyldgaard *et al.*, 2012). Se debe controlar y optimizar la cantidad que se aporta e incorpora en un alimento o tratamiento (Solórzano-Santos & Miranda-Novelas, 2012).
- Crean uniones con componentes del alimento, lo que ocasiona que se pierda o modifique el efecto de su función (Kim y Rhee, 2016).
- Poco resistentes a temperaturas mayores a 20°C (Figiel *et al.*, 2010).
- Deben ser purificadas, ya que son extractos de plantas y pueden contener otras sustancias (Smith-Palmer *et al.*, 2001).

Los aceites esenciales nombrados anteriormente (eugenol, carvacrol, timol y vainillina) son capaces de inhibir el crecimiento de microorganismos en concentraciones entre 0,05 y 5 µL/mL en ensayos *in vitro*. Pero para ser efectivos en los alimentos se necesitan de concentraciones más elevadas (Chouhan *et al.*, 2017), dependiendo de cada compuesto y de cada alimento. Por estas dos razones, altas concentraciones y modificaciones de las cualidades organolépticas, no es aconsejable aplicarlos directamente en los alimentos (Jo *et al.*, 2015). Los efectos organolépticos se pueden minimizar, dependiendo del alimento en que se esté aplicando, por ejemplo, en una salsa, el aroma a tomillo que desprende el timol o el sabor a vainilla de la vainillina en la repostería, pueden ser agradables.

Por lo tanto, se debe idear un método en el cual los compuestos solo otorguen a los alimentos la actividad antimicrobiana y antioxidante, eludiendo los atributos no deseables, como el aroma y la toxicidad. Por esta razón, se debe adaptar a todas las posibles combinaciones, como el tipo de aceite esencial, el alimento, y la función deseada; ya sea antimicrobiana y/o antioxidante.

1.4. Posibles soluciones a las limitaciones de la aplicación directa de los aceites esenciales

Una posible alternativa a esta adición directa, que está teniendo excelentes resultados es la inmovilización de estos aceites esenciales sobre

diferentes estructuras (Ruiz-Rico *et al.*, 2017). La inmovilización, consiste en anclar los compuestos bioactivos de los aceites esenciales sobre un soporte. Actualmente, la inmovilización se está utilizando sobre todo en enzimas (Cebrián, 2020), de esta manera, no se consumen en las reacciones y pueden ser reutilizadas. Extrapolando el método de inmovilización a otras partículas que funcionan como antimicrobianos y antioxidantes (Peña-Gomez *et al.*, 2019b), se consigue preservar las propiedades de los compuestos y no permite que migren sus cualidades no deseadas.

Gracias a la aplicación de esta técnica se pueden utilizar aceites esenciales en una mayor cantidad de reacciones y matrices alimentarias. Permite poder separar de forma rápida el material funcionalizado, sin que este deba estar en el producto final, (Gupta *et al.*, 2016) actuando como coadyuvantes. Tras su retirada se realiza una reutilización, incorporándose en ciclos de producción posteriores, reduciendo así el coste económico de la utilización del material funcionalizado.

Con todas las premisas anteriores, se debe definir una técnica que sea capaz de otorgar el mayor número de usos para una misma biomolécula inmovilizada de los aceites esenciales, siendo sencilla y de bajo coste, sin olvidar que se deben mantener las propiedades antimicrobianas y antioxidantes, además de ser estable el enlace entre el soporte y el aceite esencial.

2. OBJETIVO

El principal objetivo de este trabajo es identificar los principales métodos, soportes y usos empleados para la inmovilización de aceites esenciales.

Para hacer este análisis, en primer lugar, se revisarán los soportes que mejor se adaptan a la combinación de aceite esencial/soporte. Posteriormente se estudiará la forma de unión de los aceites esenciales con el soporte que más se utiliza y mejores resultados da para lograr la inmovilización. Finalmente, se identificarán los usos y las aplicaciones se clasificarán según sean de antimicrobianos y/o antioxidantes.

Esta recopilación de métodos, soportes y usos para la inmovilización de aceites esenciales pretende ser un catálogo de aplicaciones que puedan ser utilizadas en la industria alimentaria tras el consiguiente escalado y autorización por las autoridades competentes.

3. METODOLOGÍA

Los materiales que se han empleado para el desarrollo del trabajo son documentos, artículos y trabajos publicados anteriores a la fecha de presentación de este documento, que están relacionados con el concepto de inmovilización de aceites esenciales, los métodos de inmovilización y los materiales que son utilizados para dicha inmovilización.

El método que se ha utilizado para el desarrollo del trabajo es el de búsqueda masiva de información, lectura detenida de la que se considere

relevante y adaptación al nuevo documento. Esto se ha realizado sobre la mayor cantidad de documentos posibles, a fin de contrastar información de distintos autores y de verificar la información.

Los gráficos y las figuras son de creación propia. Tras la lectura y estudio de la información de los documentos, se han creado los gráficos y las figuras para facilitar la comprensión y entendimiento de la información.

Para las tablas se han utilizados programas de edición de textos para ser creadas y realizarlas de manera propia. Del mismo modo se han creado las figuras.

Como es un trabajo bibliográfico, hay que dar especial importancia a las citas de los documentos, artículos y trabajos que se han consultado. Están incluidos en el apartado de Bibliografía del documento, el cual posee las citas con el método APA (*American Psychological Association*).

La primera fase es una búsqueda, basándose en las palabras clave de dicho trabajo (Inmovilización, compuestos biológicos, aceites esenciales, eugenol, carvacrol, vainillina, timol, soportes, antioxidante y antimicrobiano) y relacionándolas con el título y las palabras clave del propio documento de objetivo de búsqueda. De este modo se tiene conocimiento de la posible relación con el objetivo y tema principal del trabajo. Seguidamente, si el título es de interés, se lee el apartado del resumen, conclusiones e índice, para tener una mayor concreción de la información y asegurar el interés del documento buscado frente a este. Es importante observar la fecha de publicación del documento, ya que se trata de un trabajo de nuevos métodos y para ello es imprescindible que sean de reciente publicación. Finalmente, si los temas tratados en el documento aportan información de interés son adoptados y transcritos para adecuarlos a la estructura del documento objeto de redacción.

Los canales de búsqueda que se han empleado son del tipo buscadores web. Los más utilizados son *Google Scholar*, *Polibuscador de la UPV*, *SciFinder* y *Scopus*. A través de los buscadores se introducían las palabras clave y se realiza la consulta de los documentos. Como muchos documentos son publicaciones de revistas científicas de pago, se ha podido acceder a ellas gracias al Polibuscador de la UPV, ya que este buscador de la gran base de datos digital que posee la UPV y tiene muchos documentos comprados abiertos para la consulta de sus alumnos. El resto de documentos eran de acceso libre y con posibilidad de descarga, lo que facilita la lectura y síntesis de la información.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se describe toda la información recopilada sobre métodos y soportes para la inmovilización de los compuesto bioactivos y aceites esenciales, una vez procesada y clasificada.

4.1. Principales soportes de inmovilización

En la industria alimentaria muchos de los alimentos o ingredientes son líquidos o poseen un alto porcentaje de fase acuosa. Estos deben mantener unos estándares de pureza, limpieza e inocuidad, los cuales se deben cumplir mediante diferentes operaciones unitarias básicas. Para conseguir estos estándares es utilizado el filtrado, en concreto uno que se realiza con partículas las cuales retienen las impurezas o sustancias a eliminar del alimento. Estas partículas pueden funcionalizarse y actuar como soporte antimicrobiano. Varían dependiendo de (Martinez, 2020):

- Propiedades del compuesto bioactivo fijado.
- Características del soporte.
- Metodología de inmovilización.
- Compatibilidad del soporte con el compuesto bioactivo.

Unas de las primeras aplicaciones que se desarrollaron, fue el uso de membranas de celulosa. Estas membranas, las cuales estaban o no funcionalizadas con los aceites esenciales, se estudiaron y caracterizaron, pero no se obtuvieron los resultados deseados en cuanto a acción antimicrobiana se refiere (Madaeni *et al.*, 2011). Seguidamente se aplicaron también a otros materiales como sílice, calcio (Polo *et al.*, 2018), carbono en forma de nanofibras (Martinez, 2020) y metales, como el oro (Wu *et al.*, 2016) y el hierro (Sánchez-Ramírez *et al.*, 2014).

Los principales soportes se clasifican atendiendo al tipo de material:

- Poliméricos
 - Celulosa
 - Quitosano
 - Plásticos sintéticos
- Metálicos
 - Nanopartículas de oro (NPG)
 - Nanopartículas magnéticas
- Cerámicos
 - Membranas cerámicas
 - Partículas de Sílice
 - Arcillas
 - Arenas
- Nanopartículas de sílice

4.1.1. Poliméricos: celulosa, quitosano y plásticos sintéticos

La celulosa es una red de fibras lineales, formadas por glucosa. Es un material poroso, el cual es capaz de retener moléculas, permitiendo que sea utilizada en la industria alimentaria como filtro. Sus propiedades son aptas debido a su alta superficie y resistencia mecánica, facilidad de funcionalización y bajo impacto ambiental (Peña-Gómez *et al.*, 2020). La inmovilización puede conseguirse con grupos activos de los aceites esenciales y los grupos hidroxilo de la celulosa.

Un ejemplo del uso de la celulosa como material de anclaje, es el desarrollado para inmovilizar eugenol, carvacrol, vainillina y timol en ensayos *in vitro* extrapolables a vino, para eliminar *Saccharomyces cerevisiae*, *Zygosaccharomyces bailii*, *Brettanomyces bruxellensis*, *Lactobacillus*

plantarum y *Acetobacter aceti* (García-Ríos *et al.*, 2018). En este trabajo se demostró que la celulosa funcionalizada en comparación con la no funcionalizada, tenía entre 10 y 90 veces más efectividad, dependiendo de las condiciones y el aceite esencial utilizado.

El grupo de las quitinas, quitosanos y sus derivados son materiales aptos para ser soportes de inmovilización, debido a sus propiedades no tóxicas, compatibilidad con los compuestos y ser biodegradables. El quitosano es un polisacárido lineal compuesto por D-glucosamina y N-acetil-D-glucosamina, distribuidos al azar. Posee diversos grupos funcionales, que permiten la unión (Hao *et al.*, 2011).

Además, hay estudios sobre aplicaciones de materiales plásticos sintéticos con antimicrobianos inmovilizados (Martines-Tenorio *et al.*, 2011, Galiana, 2017). Aunque los ejemplos anteriores no sean de antimicrobianos provenientes de aceites esenciales, son una gran fuente de estudio e inspiración para extrapolarlos.

4.1.2. Metálicos: nanopartículas de oro (NPG) y nanopartículas magnéticas

Los materiales metálicos destacan por sus propiedades físicas, son inertes, aptos para muchos alimentos, independientemente de las partículas de la fase acuosa (Bekmurzayeva, *et al.*, 2018). Algunas partículas deben preparar su superficie para poder anclar las biomoléculas de los aceites esenciales (Dadfar *et al.*, 2019).

El oro es un mineral que se ha empezado a emplear en los procesos de inmovilización desde hace menos de 10 años (Wu *et al.*, 2016). Se ha descubierto que tiene gran afinidad con los compuestos bioactivos y es compatible con estos, debido a su rápida unión y durabilidad de la inmovilización (Stine, 2017). La estructura formada es una red de nanofibras, las cuales crean poros entre sus cruces donde se localizan los aceites esenciales (El Mel *et al.*, 2015). En un estudio (Fuentes, 2018) demostró la actividad antioxidante *in vitro* de inmovilizados de carvacrol y timol en NPG. Los resultados mostraron que estas partículas incrementaron su poder, pudiendo ser adaptados a alimentos.

Los materiales ferromagnéticos han despertado gran interés en el campo de la inmovilización de compuestos bioactivos, debido a sus propiedades para ser retirados del seno del alimento que se encuentre en estado líquido (Sánchez-Ramirez *et al.*, 2014). Las partículas son inducidas por un campo magnético externo, para que sean atraídas y poder recuperarlas, lo que facilita su posterior reutilización o eliminación. Los más utilizadas son óxidos de hierro (Fe_2O_3 y Fe_3O_4) (Beveridge *et al.*, 2011). Los tamaños oscilan entre 10 y 100 nm (Gregorio-Jáurequi *et al.*, 2012). Todavía no hay estudios sobre aceites esenciales, pero sobre enzimas, están dando resultados muy positivos, motivo por el que se extrapolen a los compuestos bioactivos de los aceites esenciales (Cebrian, 2020).

4.1.3. Cerámicos: membranas cerámicas, partículas de sílice, arcillas y arenas

Los materiales cerámicos son sólidos inorgánicos los cuales tienen sílice en su composición, como el óxido de silicio, el cual posee una gran estabilidad física, química y mecánica, así como su no toxicidad y alta resistencia a microorganismos. En su superficie, que es altamente porosa, presenta grupos *silanol* (*Si-OH*) los cuales reaccionan fácilmente con organosilanos, mediante sustitución nucleofílica alifática, permitiendo así el anclaje de los compuestos bioactivos (Jiang *et al.*, 2016 y Ruiz-Rico *et al.*, 2016).

Dentro de este grupo se encuentran las partículas de sílice mesoporosas, que tienen una gran superficie específica debido al tamaño del poro, lo que les hace que tengan más puntos de anclaje y contacto alimento/soporte funcionalizado (Botequim *et al.*, 2012). Los tamaños utilizados son de 5, 10, 25 y 50 μm . Con éstos, se intenta desarrollar material funcionalizado adecuado para cada tipo de líquido y de microorganismo. Poseen gran estabilidad térmica, durabilidad a los movimientos y sobre todo, la gran biocompatibilidad y facilidad para captar y anclar las biomoléculas. Se pueden realizar uniones covalentes con facilidad entre los aceites esenciales (carvacol, eugenol, timol y vainillina) y la superficie del soporte. Los soportes más estudiados son las nanopartículas de sílice. Son más económicas y presentan mayor afinidad por los compuestos bioactivos y los aceites esenciales.

Un caso concreto y muy extendido, son las partículas MCM-41 (Mobil Composition of Matter). Es un tipo de sílice mesoporoso, de dióxido de silicio, el cual posee una estructura con alta estabilidad, gran superficie específica y volumen, lo cual hace que durante la creación del tamaño de partículas sea fácil su control y se pueden hacer tamaños específicos (Vacca, 2020). También es fácil su funcionalización con los compuestos bioactivos, debido a su gran número de puntos de enlace y la facilidad para anclar los compuestos (Aznar *et al.*, 2016) mediante los enlaces trialcóxidosilanos, que serán más desarrollados en el apartado 4.2.2.2.

4.2. Principales métodos de inmovilización

En la industria de la inmovilización de compuesto bioactivos, aceites esenciales en este caso, hay diversos métodos de unión de las moléculas a los soportes. Antiguamente, los que más se utilizaban eran la adsorción y el atrapamiento mediante la encapsulación de los aceites esenciales, pero actualmente, el principal método de estudio y el más utilizado, es la unión covalente.

Previamente a la realización de las uniones de los aceites esenciales a la superficie de la superficie de las partículas, deben funcionalizarse, es decir, prepararla para hacer un anclaje correcto y que se mantengan durante el periodo en que son utilizados. En la **Figura 1** se puede ver un esquema de cómo se realiza una funcionalización de un material de soporte para un aceite esencial. El esquema A es la superficie del material donde se realizará la unión. El esquema B es la funcionalización de la superficie para

que se permita realizar un anclaje correcto. Y por último, el esquema C es la partícula del soporte con un aceite esencial inmovilizado.

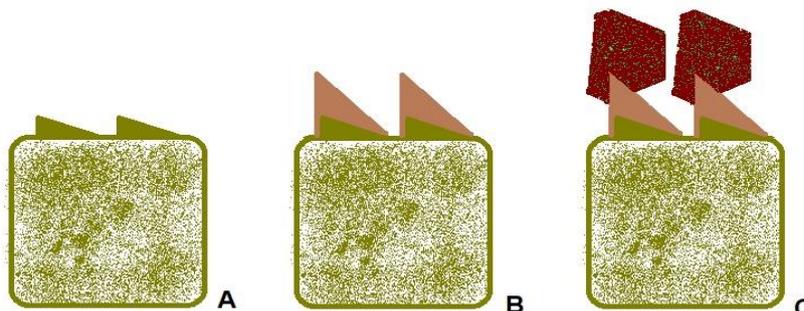


Figura 1. Esquema de la realización de la funcionalización de un material de soporte para un compuesto bioactivo. A, es la superficie del material donde se realizara la unión; B, es la funcionalización de la superficie y C, es la partícula del soporte con un compuesto bioactivo inmovilizado.

4.2.1. Técnicas de funcionalización de las superficies de las partículas del soporte

La funcionalización del soporte consiste en modificar y/o preparar la superficie para hacerla apta para la unión y anclaje de las biomoléculas, creando los puntos de anclaje adecuados. Este proceso, mejora la afinidad de la unión soporte/aceite esencial, otorga alta estabilidad, baja toxicidad y maximiza la cantidad inmovilizada por unidad de área (Hu *et al.*, 2017). Hay distintas técnicas de funcionalización de superficies, pero las más utilizadas y estudiadas son las realizadas mediante químicos húmedos, monocapas de silano, tratamiento de gas ionizado, irradiación UV y el intercambio de ligandos (Kango *et al.*, 2013).

Los químicos húmedos son aquellos que generan grupos funcionales sobre la superficie de las partículas mediante reactivos líquidos. Poseen gran capacidad de penetración en la superficie, pero son de forma irregular y generan residuos peligrosos. Son útiles a nivel de laboratorio, pero no soportan un escalado para uso industrial (Denis-Rohr *et al.*, 2015).

Las monocapas de silano se han utilizado ampliamente, ya que solapan de manera formidable el material inorgánico (soporte) y el material orgánico (biomoléculas de aceite esencial). Poseen una estructura ordenada, casi cristalina, lo que hace que sea uniforme su funcionalización sobre toda la superficie.

El tratamiento de gas ionizado, consiste en la utilización de plasma. No generan residuos durante la modificación de la superficie, pero generan grupos oxigenados que no presenta estabilidad. Consiste en el bombardeo de la superficie del soporte y genera un espectro de productos de oxidación. Dentro de este abanico de grupos de oxidación, una gran mayoría son grupos útiles para reaccionar con aldehídos, hidroxilos o ácidos de los compuestos bioactivos de los aceites esenciales (Goddard y Hotchkiss, 2007). Otro método es la irradiación con rayos UV, el cual genera puntos reactivos que se convierten en grupos funcionales para anclar las partículas. La mayor ventaja es el ajuste de la longitud de onda dependiendo del tipo de material y el tipo de aceite esencial.

Por contraposición, hay veces que se debe anular la funcionalidad de algunos puntos de la superficie de los materiales, para que no reaccionen con moléculas no deseadas.

4.2.2. Técnicas de unión de las biomoléculas a la superficie de las partículas del soporte

Cuando ya se tiene el compuesto bioactivo del aceite esencial seleccionado, el soporte más afín y funcionalizado adecuadamente, se debe realizar la unión de estos mediante un enlace. Hay dos tipos, el enlace no covalente y el enlace covalente.

4.2.2.1. Unión mediante enlace no covalente

Este tipo de uniones se realiza mediante enlaces electroestáticos. Es una técnica muy sencilla, ya que es mediante fuerza de Van der Waals o puentes de hidrogeno. La unión es inestable térmicamente, pudiéndose desprender el compuesto bioactivo, por este motivo no es utilizado para este tipo de antimicrobianos y aplicaciones ([Mondragon et al., 2014](#)).

4.2.2.2. Unión mediante enlace covalente

Una unión covalente, propiamente dicha, es un vínculo entre dos o más elementos que comparten pares de electrones y son aceptados por ambas partes de la unión. Comparten los electrones para completar la última capa atómica y lograr la estabilidad, logrando el llamado “octeto estable” ([Pérez Porto y Gardey 2016](#)).

Es la técnica más estudiada en el campo de inmovilización de aceites esenciales. En los procesos industriales alimentarios es la más eficiente y eficaz, en cuanto a estabilidad se refiere ([Hirsh et al., 2010](#)). Es empleada cuando existe un requerimiento estricto de ausencia de aceites esenciales en el producto. La principal ventaja es la estabilidad de los enlaces formados por los aceites esenciales y el soporte, haciendo posible que se puedan realizar numerosas reutilizaciones del material inmovilizado ([Fajardo-Ochoa et al., 2011](#)). Otras ventajas de este método, son las siguientes ([Arroyo, 1998](#)):

- Sencilla manipulación de los derivados una vez creados.
- La carga de los compuestos bioactivos no se ve afectada.
- Poseen mayor resistencia frente a la temperatura, a la interacción con disolventes orgánicos y al pH.
- Los derivados pueden utilizarse en un gran número de reactores, dependiendo del alimento a tratar.

La desventaja más significativa ([Arroyo, 1998](#)) es una ligera alteración de la estructura del aceite esencial en un pequeño porcentaje de todos los casos, pero aun así es compatible para los tratamientos.

Para crear las uniones de la sílice con la biomoléculas de los aceites esenciales, se utiliza un trialcoxisilano ([delHierro y Pérez, 2017](#)), es decir, una molécula que tiene un sílice unido a tres oxígenos y partir de ese punto

empieza una cadena, que acaba en un grupo funcional. Esta es la parte que se ancla directamente a la biomolécula que queremos inmovilizar. El trialcoxisilano se queda anclado por una parte a la sílice y por la otra parte, es libre y apta para anclarse a la molécula que se pretende inmovilizar.

En la **Figura 2** se representa un esquema de cómo está formada la unión de un aceite esencial (vainillina) con la amina y el enlace trialcoxisilano con el sílice y los oxígenos ([Ruiz-Rico et al., 2017](#)).

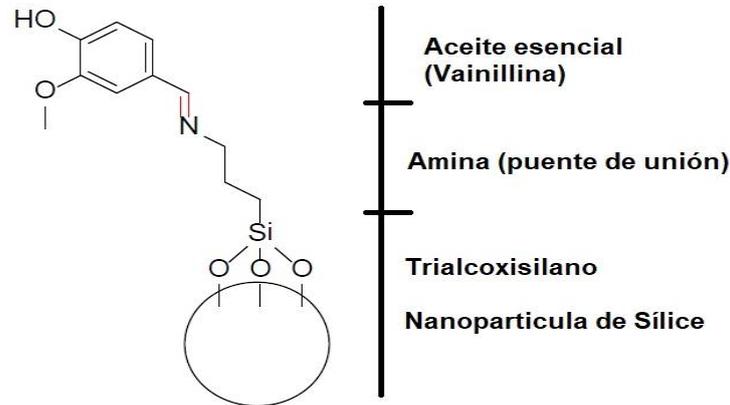


Figura 2. Representación de la unión de un aceite esencial (Vainillina) con la amina y el enlace trialcoxisilano con el sílice y los oxígenos (Elaboración propia).

En la **Figura 3** está representada una estructura de MCM-41 en la que se muestra el enlace trialcoxisilano y la forma en que se pueden unir las biomoléculas ([Zapelini et al., 2018](#)). Se ha representado la unión con las partículas MCM-41, es la más utilizada en el campo de la inmovilización de biomoléculas.

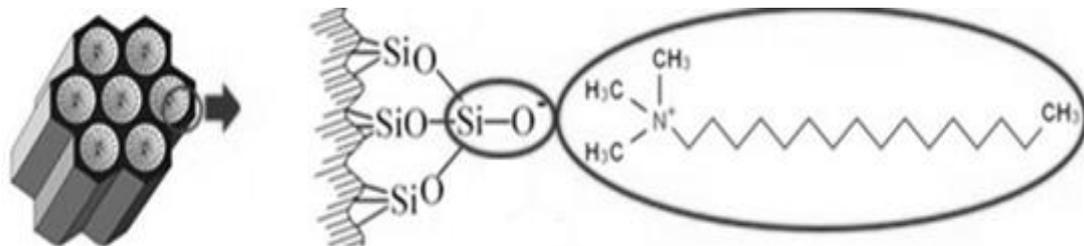


Figura 3. Representación de la estructura de MCM-41 en la que se muestra el enlace trialcoxisilano y la forma en que se pueden unir las biomoléculas.

Con toda la gran variedad de materiales y de aceites esenciales, se están desarrollando nuevos métodos para inmovilizarlos ([Pérez-Esteve et al., 2016](#)) y conseguir que solo afecte al alimento las propiedades antimicrobianas y antioxidantes.

4.3. Principales usos del material de inmovilización

Una vez definidas las características funcionales de los cuatro CAEs (eugenol, carvacrol, vainillina y timol) objeto de estudio, los principales soportes para la inmovilización, y el principal método de anclado, en esta sección se describen las principales aplicaciones publicadas hasta la fecha de los soportes.

Estas aplicaciones incluyen: a) la incorporación intencionada al alimento para modificar alguna de sus características, en este caso la conservación (uso como aditivo); y b) su uso en la transformación de materias primas, alimentos o de sus ingredientes para cumplir un determinado propósito tecnológico durante el tratamiento o la transformación, en este caso el de eliminar microorganismos y/o aportar un efecto antioxidante, sin que los soportes con los CAEs inmovilizados, o sus posibles derivados, estén presentes en el producto final (uso como coadyuvante tecnológico).

4.3.1. Uso como aditivo

Comenzando con ejemplos de inmovilización de CAEs para ejercer un efecto de aditivo conservante cabe mencionar el trabajo realizado por [Ribes et al., \(2017\)](#). En este estudio se inmovilizaron diferentes aceites esenciales sobre MCM-41 para evaluar si de esta manera se conservaba la acción antimicrobiana y además se enmascaraba su fuerte olor tras ser añadidos a mermeladas de fresa. Una vez inmovilizados los diferentes compuestos, se adicionaron a mermeladas y se evaluó su actividad antimicrobiana y su efecto sensorial, en comparación con las mismas dosis añadidas de forma libre. Las mermeladas elaboradas con los aceites esenciales libres controlaron el crecimiento de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium expansum*, *Zygosaccharomyces rouxii* y *Zygosaccharomyces bailii* a lo largo de la vida útil del alimento, pero tenían el aroma característico de los compuestos bioactivos. Por contraposición, las mermeladas elaboradas con los aceites esenciales inmovilizados sobre MCM-41, cumplieron con la labor de antibacterianos y no aportaron olor al producto final. Este trabajo demuestra el uso prometedor de eugenol y timol inmovilizado en micropartículas de sílice mesoporosa para controlar la alteración microbiana de la mermelada de fresa.

Esta nueva técnica de introducir un aditivo, el cual posee un CAEs, en los alimentos ([Prakash et al., 2015](#)), se deben seguir estudiando y asegurando la inocuidad del alimento ([Li et al., 2016](#)). Son métodos modernos y están todavía a nivel de laboratorio ([Peña-Gómez et al., 2019a](#)).

4.3.2. Uso como coadyuvante tecnológico

Respecto al uso de CAEs inmovilizados sobre soportes nanoestructurados como coadyuvantes tecnológicos, el principal uso que se le ha dado hasta el momento es la reducción de la carga microbiana de un alimento a través del paso del mismo por un lecho confeccionado por el seno del material. La **Figura 4** muestra un posible esquema del uso de estas partículas como coadyuvantes tecnológicos. De esta forma, mediante el paso y contacto de los microorganismos del líquido con los aceites esenciales, se realiza la reacción responsable del tratamiento para inhabilitar estos microorganismos. Logrando esto, el líquido está libre de ser dañino y no posee en su seno los aceites esenciales que pueden crear rechazo por razones organolépticas ([Deligiannakis et al., 2012](#)).

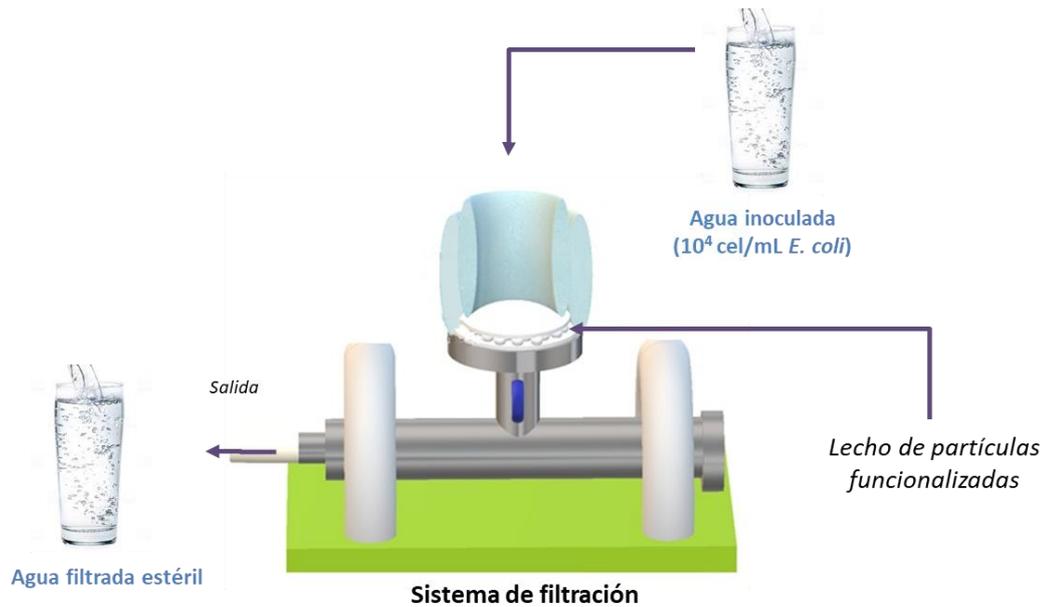


Figura 4. Funcionamiento de un sistema de filtración de alimentos líquidos a través de partículas de óxido de silicio funcionalizadas con aceites esenciales.

Este tipo de filtración, también conocida como filtración sobre lecho profundo, se ha utilizado tradicionalmente en la industria de alimentos (clarificación de bebidas, purificación de aguas...). La novedad de este sistema recae en que se utilizan partículas de un tamaño tal que no permiten la retención de compuestos del alimento, de manera que no se colmatan los lechos, y el alimento no cambia sus propiedades físico-químicas ni organolépticas.

La eficacia en el control microbiano se debe a la combinación de la adsorción física y la inactivación por contacto con los compuestos de aceites esenciales inmovilizados (Peña-Gómez 2020). El lecho de filtrado consiste en crear una superficie con el material funcionalizado, por la cual se hace pasar el líquido y hay contacto con su superficie, haciendo que actúen los compuestos de los aceites esenciales inmovilizados (Singh *et al.*, 2020).

La filtración de un alimento líquido a través de un lecho de partículas funcionalizadas con los aceites esenciales, ayuda a eliminar microorganismos (Roselló, 2019), sin que el producto se vea afectado por la aplicación de un tratamiento térmico. Este nuevo sistema de filtración está basado en la inmovilización de los aceites esenciales a la superficie de las partículas de los soportes (Ribes *et al.*, 2017). El objetivo de este método es que sea eficiente en el momento de reutilizar y no dañar las propiedades del líquido filtrado, es decir, no modificar las propiedades organolépticas. El número de reutilizaciones depende del poder de acción de los aceites esenciales como antimicrobianos o antioxidantes (Ruiz-Rico *et al.*, 2015). Se deben hacer ensayos para asegurar el uso de las partículas funcionalizadas, tanto de cantidad de alimento como de calidad del producto final.

La actividad antimicrobiana de los materiales es evaluada mediante cultivos *in vitro* (Ruiz-Rico *et al.*, 2020) para determinar la concentración mínima crítica inhibitoria (CMI). En un estudio de Ruiz-Rico (2016), se

hicieron tratamientos con partículas solas, aceites esenciales libres y partículas funcionalizadas con los aceites esenciales unidos por enlace covalente. Como resultado se demostró que la eficacia de las nanopartículas se vio mejorada por la inmovilización de los aceites esenciales. Además, se evitó la posible contaminación por toxicidad de los aceites esenciales por liberación al alimento. El enlace covalente demostró ser apto para tratamientos con alimentos.

Este tipo de tratamientos ha sido extrapolado a posteriores investigaciones, como por ejemplo el vino (García-Ríos *et al.*, 2018), la cerveza (Peña-Gómez *et al.*, 2020), agua (Peña-Gómez *et al.*, 2019b), zumos de frutas (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2017) y fruta fresca (Niu *et al.*, 2020). En los alimentos es muy importante que no exista ninguna migración de aceites esenciales, debido a sus cualidades organolépticas. Por esta razón, en los estudios, una parte muy importante es la cata de los productos resultantes de los ensayos. En el estudio de Peña-Gómez *et al.*, (2020), los catadores detectaron una ligera pérdida de gasificación sobre la cerveza, debida a al paso por el material funcionalizado que rompe el gas del interior del líquido. Pero en cuanto a sabor y aroma no se vio afectado ningún parámetro. En otro estudio de Peña-Gómez *et al.*, (2019b), sobre agua, no se detectó ningún tipo de alteración sobre las propiedades organolépticas. El agua no se ve afectada por un tratamiento así, lo que hace que sea una opción factible para poder escalarla a nivel industrial.

4.3.3. Uso para la creación de superficies antimicrobianas

Otras aplicaciones de la inmovilización de aceites esenciales a modo de antimicrobiano, es la unión a las superficies de los envases o packaging (Muriel-Galet *et al.*, 2013) De igual manera, también pueden ser inmovilizados sobre diversas superficies que tienen contacto con el alimento (Botequim *et al.*, 2012), ya sean cubiertas de acero y/o polietileno, realizando de este modo la función de antimicrobiano. En un estudio realizado por Nielsen *et al.*, (2018) los autores proponían la utilización de eugenol inmovilizado sobre polietileno para evitar la proliferación de microorganismos en superficies de trabajo. También hay estudios recientes sobre la inmovilización de los aceites esenciales sobre fibras textiles (Yang *et al.*, 2020).

Más ejemplos sobre las aplicaciones de los materiales inmovilizados y las superficies funcionalizadas con componentes de aceites esenciales, para su uso como antioxidantes o antimicrobianos en tecnología de alimentos, quedan recogidos en el **Anexo 1**.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo pone en evidencia que la inmovilización de compuestos con capacidad funcional sobre superficies es una práctica que puede ser

utilizada para su efecto antimicrobiano y/o antioxidante, evitando problemas de compatibilidad con la matriz, sensoriales o de estabilidad.

En cuanto a los soportes de inmovilización, son empleados distintos materiales como la celulosa, el oro, partículas ferromagnéticas, y la sílice MCM-41. Las uniones de soporte/aceite esencial que mejor resultado aportan son las realizadas por medio de enlaces covalentes, ya que son uniones permanentes.

Respecto al uso de estos materiales en tecnología de alimentos, pese a que su uso como aditivo podría suponer una mejora en la dosificación de los CAEs, la verdadera revolución aparece en su uso como coadyuvantes tecnológicos. Concretamente, estos materiales pueden ser utilizados para crear lechos de partículas a través de las cuales hacer pasar alimentos líquidos. Esta técnica la llamada esterilización en frío, permite estabilizar microbiológicamente alimentos líquidos sin alterar sus propiedades nutricionales y sensoriales.

Finalmente cabe mencionar que, aunque existe una gran cantidad de estudios que corroboran esta nueva práctica, se necesita de más investigación para poder instaurarla como operación habitual en la industria alimentaria. Para ello, no sólo se deben escalar los prototipos de filtración, sino también los procesos de síntesis y preparación de las partículas de una manera viable económicamente.

6. REFERENCIAS

- Abdulmumeen, H. A., Risikat, A. N., & Sururah, A. R. (2012). Food: Its preservatives, additives and applications. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 1(2012), 36-47.
- Alejandro, M. M. (2001). Aceites esenciales. *Facultad de Química Farmacéutica. Medellín. Universidad de Antioquia*, 1-12.
- Arroyo, M. (1998). Inmovilización de enzimas. Fundamentos, métodos y aplicaciones. *Ars Pharmaceutica*, 39(2), 23-39.
- Aznar, E., Oroval, M., Pascual, L., Murguía, J. R., Martínez-Mañez, R., Sancenón, F., 2016. Gated materials for on-command release of guest molecules. *Chemical Reviews*, 116, 561-718.
- Bekmurzayeva, A., Duncanson, W. J., Azevedo, H. S., & Kanayeva, D. (2018). Surface modification of stainless steel for biomedical applications: Revisiting a century-old material. *Materials Science and Engineering: C*, 93, 1073-1089.
- Beveridge, J. S., Stephens, J. R., & Williams, M. E. (2011). *beveridge2011*. pdf. *Annu. Rev. Anal. Chem*, 4, 251-73.
- Botequim, D., Maia, J., Lino, M. M. F., Lopes, L. M. F., Simoes, P. N., Ilharco, L. M., & Ferreira, L. (2012). Nanoparticles and surfaces presenting antifungal, antibacterial and antiviral properties. *Langmuir*, 28(20), 7646-7656.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International journal of food microbiology*, 94(3), 223-253.
- Calo, J. R., Crandall, P. G., O'Bryan, C. A., & Ricke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems—A review. *Food control*, 54, 111-119.
- Carocho, M., Morales, P., & Ferreira, I. C. (2015). Natural food additives: Quo vadis?. *Trends in food science & technology*, 45(2), 284-295.
- Castillo Arias, A. Evaluación de las propiedades antimicrobianas y atributos sensoriales de aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinale*) adicionado a una matriz de paté de hígado de cordero.

- Cebrián Cabo, S. (2020). Nuevos métodos y soportes para la inmovilización de enzimas. Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de Valencia.
- Chandran, J., Aravind, U. K., & Aravindakumar, C. T. (2015). Sonochemical transformation of thymidine: A mass spectrometric study. *Ultrasonics sonochemistry*, 27, 178-186.
- Chen, F., Shi, Z., Neoh, K. G., & Kang, E. T. (2009). Antioxidant and antibacterial activities of eugenol and carvacrol-grafted chitosan nanoparticles. *Biotechnology and bioengineering*, 104(1), 30-39.
- Chouhan, S., Sharma, K., & Guleria, S. (2017). Antimicrobial activity of some essential oils—present status and future perspectives. *Medicines*, 4(3), 58.
- Dadfar, S. M., Roemhild, K., Drude, N. I., von Stillfried, S., Knüchel, R., Kiessling, F., & Lammers, T. (2019). Iron oxide nanoparticles: Diagnostic, therapeutic and theranostic applications. *Advanced drug delivery reviews*, 138, 302-325.
- Deak, T. (2014). Food technology: sterilization. In: *Encyclopedia of Food Safety*, 3: 245-252.
- Deans, S. G., & Ritchie, G. (1987). Antibacterial properties of plant essential oils. *International journal of food microbiology*, 5(2), 165-180.
- del Hierro, I., & Pérez, Y. (2017). Alcoxisilanos en la consolidación de materiales pétreos-alcoxisilanos for the consolidation of stonework. *Revista Otarq: Otras arqueologías*, (1), 171-180.
- Deligiannakis, Y., Sotiriou, G. A., & Pratsinis, S. E. (2012). Antioxidant and antiradical SiO₂ nanoparticles covalently functionalized with gallic acid. *ACS applied materials & interfaces*, 4(12), 6609-6617.
- Denis-Rohr, A., Bastarrachea, L. J., & Goddard, J. M. (2015). Antimicrobial efficacy of N-halamine coatings prepared via dip and spray layer-by-layer deposition. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 12-19.
- El Mel, A. A., Boukli-Hacene, F., Molina-Luna, L., Bouts, N., Chauvin, A., Thiry, D., ... & Tessier, P. Y. (2015). Unusual dealloying effect in gold/copper alloy thin films: the role of defects and column boundaries in the formation of nanoporous gold. *ACS applied materials & interfaces*, 7(4), 2310-2321.
- Fajardo-Ochoa, R., Osuna-Castro, J. A., VillaVelázquez-Mendoza, C., Escalante-Minakata, P., Ibarra-Junquera, V., & Manzanillo, T. (2011). Inmovilización de células y enzimas. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 3(6), 42-56.
- Figiel, A., Szumny, A., Gutiérrez-Ortíz, A., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2010). Composition of oregano essential oil (*Origanum vulgare*) as affected by drying method. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 240-247.
- Fuenmayor, C. A., Lemma, S. M., Mannino, S., Mimmo, T., & Scampicchio, M. (2014). Filtration of apple juice by nylon nanofibrous membranes. *Journal of Food Engineering*, 122, 110-116.
- Fuentes, F. J. G. (2018). Determinación de la capacidad antioxidante y características estructurales de metabolitos secundarios de extractos polares y aceite esencial de orégano mexicano (*Lippia graveolens*) mediante la técnica de voltamperometría diferencial de pulso
- Galiana Linares, L. (2017). Nuevos materiales para envasado activo de alimentos: antimicrobianos
- García, A. A. (1994). *Fitoterapia: vademecum de prescripción*. Asociación Española de medicos naturistas.
- García-Ríos, E., Ruiz-Rico, M., Guillamón, J. M., Pérez-Esteve, É., & Barat, J. M. (2018). Improved antimicrobial activity of immobilised essential oil components against representative spoilage wine microorganisms. *Food Control*, 94, 177-186.
- Goddard, J. M., & Hotchkiss, J. H. (2007). Polymer surface modification for the attachment of bioactive compounds. *Progress in polymer science*, 32(7), 698-725.
- Gregorio-Jáuregui, K. M.; Rivera-Salinas, J. E.; Saade-Caballero, H.; López-Campos, R. G.; Martínez-Hernández, J. L.; Iliina, A. En *Química Hoy*, tópicos selectos de investigación, U. A. de C.: Coahuila, 2012.
- Guarda, A., Rubilar, J. F., Miltz, J., & Galotto, M. J. (2011). The antimicrobial activity of microencapsulated thymol and carvacrol. *International journal of food microbiology*, 146(2), 144-150.
- Gupta, A., Landis, R. F., & Rotello, V. M. (2016). Nanoparticle-based antimicrobials: surface functionality is critical. *F1000Research*, 5.

- Hao, L., Wang, Z., Qi, J., Wang, S., Hou, L., Wu, J., & Yang, J. (2011). Preparation of immobilized 1polylysine PET nonwoven fabrics and antibacterial activity evaluation. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 26(4), 675-680.
- Hernandez, M. R., Hernández, M. D. L. P. A., Almaraz, M. J., Guevara, M. L. L., & Guevara, J. J. L. (2019). Evaluación de la capacidad antimicrobiana de aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*), en fase de vapor sobre *Salmonella* entérica, en un emulsionado cárnico. *Avances de Investigación en Inocuidad de Alimentos*, 2.
- Hirsh, S. L., Bilek, M. M. M., Nosworthy, N. J., Kondyurin, A., Dos Remedios, C. G., & McKenzie, D. R. (2010). A comparison of covalent immobilization and physical adsorption of a cellulase enzyme mixture. *Langmuir*, 26(17), 14380-14388.
- Hu, Y., Wang, Y., Li, F., Ma, C., & Wang, J. (2017). Design and expeditious synthesis of organosilanes as potent antivirals targeting multidrug-resistant influenza A viruses. *European journal of medicinal chemistry*, 135, 70-76.
- Hyltdgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in microbiology*, 3, 12.
- Ibáñez, F., Torre, P., & Irigoyen, A. (2003). Aditivos alimentarios. Área de Nutrición y Bromatología, Universidad Pública de Navarra, 3-5.
- Jiang, Z., Demir, B., Broughton, R. M., Ren, X., Huang, T. S., & Worley, S. D. (2016). Antimicrobial silica and sand particles functionalized with an N-halamine acrylamidesiloxane copolymer. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(19).
- Jiménez-Sánchez, C., Lozano-Sánchez, J., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2017). Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 2: Effect on composition, phytochemical content, and physicochemical, rheological, and organoleptic properties of fruit juices. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(3), 637-652.
- Jo, Y. J., Chun, J. Y., Kwon, Y. J., Min, S. G., Hong, G. P., & Choi, M. J. (2015). Physical and antimicrobial properties of trans-cinnamaldehyde nanoemulsions in water melon juice. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 444-451.
- Kango, S., Kalia, S., Celli, A., Njuguna, J., Habibi, Y., & Kumar, R. (2013). Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic-inorganic nanocomposites—A review. *Progress in Polymer Science*, 38(8), 1232-1261.
- Kim, S. A., & Rhee, M. S. (2016). Highly enhanced bactericidal effects of medium chain fatty acids (caprylic, capric, and lauric acid) combined with edible plant essential oils (carvacrol, eugenol, β -resorcylic acid, trans-cinnamaldehyde, thymol, and vanillin) against *Escherichia coli* O157: H7. *Food Control*, 60, 447-454.
- Khorshidian, N., Yousefi, M., Khanniri, E., & Mortazavian, A. M. (2018). Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 62-72.
- Madaeni, S. S., Yasemi, M., & Delpisheh, A. (2011). Milk sterilization using membranes. *Journal of Food Process Engineering*, 34(4), 1071-1085.
- Martínez Ruiz, L. (2020). Inmovilización de antimicrobianos de origen natural y su aplicación en la industria alimentaria (Doctoral dissertation).
- Martínez-Tenorio, Y., & Lopez-Malo, V. (2011). Envases activos con agentes antimicrobianos y su aplicación en los alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de alimentos*, 5(2), 1-12.
- Mnayer, D., Fabiano-Tixier, A. S., Petitcolas, E., Hamieh, T., Nehme, N., Ferrant, C., ... & Chemat, F. (2014). Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of six essential oils from the Alliaceae family. *Molecules*, 19(12), 20034-20053.
- Mejía Díaz, A. S. (2019). Aplicación de un sistema de filtración a través de partículas funcionalizadas con compuestos bioactivos para la conservación de lactosuero.
- Milani, E. A., Ramsey, J. G., & Silva, F. V. (2016). High pressure processing and thermosonication of beer: comparing the energy requirements and *Saccharomyces cerevisiae* ascospores inactivation with thermal processing and modeling. *Journal of food engineering*, 181, 35-41.
- Mondragón, L., Mas, N., Ferragud, V., de la Torre, C., Agostini, A., Martínez-Mañez, R., ... & Orzáez, M. (2014). Enzyme-responsive intracellular-controlled release using silica

- mesoporous nanoparticles capped with ϵ -poly-L-lysine. *Chemistry–A European Journal*, 20(18), 5271-5281.
- Muriel-Galet, V., Talbert, J. N., Hernandez-Munoz, P., Gavara, R., & Goddard, J. M. (2013). Covalent immobilization of lysozyme on ethylene vinyl alcohol films for nonmigrating antimicrobial packaging applications. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(27), 6720-6727.
- Niu, X., Zhu, L., Xi, L., Guo, L., & Wang, H. (2020). An antimicrobial agent prepared by N-succinyl chitosan immobilized lysozyme and its application in strawberry preservation. *Food Control*, 108, 106829.
- Nielsen, C. K., Subbiahdoss, G., Zeng, G., Salmi, Z., Kjems, J., Mygind, T., ... & Meyer, R. L. (2018). Antibacterial isoeugenol coating on stainless steel and polyethylene surfaces prevents biofilm growth. *Journal of applied microbiology*, 124(1), 179-187.
- Li, X., & Farid, M. (2016). A review on recent development in non-conventional food sterilization technologies. *Journal of Food Engineering*, 182, 33-45.
- Liolios, C. C., Gortzi, O., Lalas, S., Tsaknis, J., & Chinou, I. (2009). Liposomal incorporation of carvacrol and thymol isolated from the essential oil of *Origanum dictamnus* L. and in vitro antimicrobial activity. *Food chemistry*, 112(1), 77-83.
- Llorens Guillem, C. (2018). Efecto de la filtración a través de partículas funcionalizadas con compuestos antimicrobianos sobre la calidad y vida útil de zumo de manzana.
- Lu, G., Li, C., Liu, P., Cui, H., Yao, Y., & Zhang, Q. (2010). UV inactivation of microorganisms in beer by a novel thin-film apparatus. *Food Control*, 21(10), 1312-1317.
- Lund, M. N., Hoff, S., Berner, T. S., Lametsch, R., & Andersen, M. L. (2012). Effect of pasteurization on the protein composition and oxidative stability of beer during storage. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(50), 12362-12370.
- Pandiselvam, R., Subhashini, S., Banuu Priya, E. P., Kothakota, A., Ramesh, S. V., & Shahir, S. (2019). Ozone based food preservation: a promising green technology for enhanced food safety. *Ozone: Science & Engineering*, 41(1), 17-34.
- Peña-Gómez, N., Ruiz-Rico, M., Fernández-Segovia, I., & Barat, J. M. (2019a). Study of apple juice preservation by filtration through silica microparticles functionalised with essential oil components. *Food Control*, 106, 106749.
- Peña-Gómez, N., Ruiz-Rico, M., Pérez-Esteve, É., Fernández-Segovia, I., & Barat, J. M. (2019b). Novel antimicrobial filtering materials based on carvacrol, eugenol, thymol and vanillin immobilized on silica microparticles for water treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 58, 102228.
- Peña-Gómez, N., Ruiz-Rico, M., Pérez-Esteve, É., Fernandez-Segovia, I., & Barat, J. M. (2020). Microbial stabilization of craft beer by filtration through silica supports functionalized with essential oil components. *LWT*, 117, 108626.
- Peña Gomez, N. (2020). Development of polymeric and silica filtering materials functionalized with antimicrobial compounds for the elimination of microorganisms in liquid food (Doctoral dissertation).
- Pérez-Esteve, É., Ruiz-Rico, M., Martínez-Máñez, R., & Barat, J. M. (2016). Mesoporous Silica Particles as Encapsulation and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals. In *Nanotechnology in Nutraceuticals* (pp. 419-460). CRC Press. CRC Press.
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2016). Actualizado: 2012. Definicion. de: Definición de plantas ornamentales. Recuperado mayo 22de.
- Pisoschi, A. M., Pop, A., Georgescu, C., Turcuş, V., Olah, N. K., & Mathe, E. (2018). An overview of natural antimicrobials role in food. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 143, 922-935.
- Ponnusamy, K., Paul, D., & Kweon, J. H. (2009). Inhibition of quorum sensing mechanism and *Aeromonas hydrophila* biofilm formation by vanillin. *Environmental Engineering Science*, 26(8), 1359-1363.
- Prakash, B., Kedia, A., Mishra, P. K., & Dubey, N. K. (2015). Plant essential oils as food preservatives to control moulds, mycotoxin contamination and oxidative deterioration of agri-food commodities–Potentials and challenges. *Food Control*, 47, 381-391.

- 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.
- Polo, L., de Greñu, B. D., Della Bella, E., Pagani, S., Torricelli, P., Vivancos, J. L., ... & Fini, M. (2018). Antimicrobial activity of commercial calcium phosphate based materials functionalized with vanillin. *Acta biomaterialia*, 81, 293-303.
- Rascon Escajeda, L. F., Cruz Hernandez, M., Rodriguez Jasso, R. M., Charles Rodriguez, A. V., Robledo Olivo, A., Contreras Esquivel, J. C., & Belmares Cerda, R. (2018). Discussion between alternative processing and preservation technologies and their application in beverages: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), e13322.
- Ribes, S., Ruiz-Rico, M., Pérez-Esteve, É., Fuentes, A., Talens, P., Martínez-Máñez, R., & Barat, J. M. (2017). Eugenol and thymol immobilised on mesoporous silica-based material as an innovative antifungal system: Application in strawberry jam. *Food Control*, 81, 181-188.
- Ribes, S., Ruiz-Rico, M., Pérez-Esteve, É., Fuentes, A., & Barat, J. M. (2019). Enhancing the antimicrobial activity of eugenol, carvacrol and vanillin immobilised on silica supports against *Escherichia coli* or *Zygosaccharomyces rouxii* in fruit juices by their binary combinations. *LWT*, 113, 108326.
- Rico, M. R. (2016). Use of silica supports for enhancing the stability of folates and developing antimicrobial agents (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Roselló Tomás, J. (2019). Efecto de la filtración de alimentos líquidos a través de partículas de óxido de silicio funcionalizadas con compuestos fenólicos en la reducción del contenido en *Escherichia coli* (Doctoral dissertation).
- Ruiz-Rico, M., Fuentes, C., Pérez-Esteve, É., Jiménez-Belenguer, A. I., Quiles, A., Marcos, M. D., Martínez-Máñez, R., & Barat, J. M. (2015). Bactericidal activity of caprylic acid entrapped in mesoporous silica nanoparticles. *Food Control*, 56, 77–85.
- Ruiz-Rico, M., Pérez-Esteve, É., Bernardos, A., Sancenón, F., Martínez-Máñez, R., Marcos, M. D., & Barat, J. M. (2017). Enhanced antimicrobial activity of essential oil components immobilized on silica particles. *Food chemistry*, 233, 228-236
- Ruiz-Rico, M., Pérez-Esteve, É., & Barat, J. M. (2018). Use of Nanotechnology as an Antimicrobial Tool in the Food Sector. In *Nanobiotechnology* (pp. 413-452). CRC Press.
- Ruiz-Rico, M., Moreno, Y., & Barat, J. M. (2020). In vitro antimicrobial activity of immobilised essential oil components against *Helicobacter pylori*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(1), 3.
- Sánchez-Ramírez, J., Martínez-Hernández, J. L., Segura-Ceniceros, E. P., Contreras-Esquivel, J. C., Medina-Morales, M. A., Aguilar, C. N., & Iliná, A. (2014). Inmovilización de enzimas lignocelulolíticas en nanopartículas magnéticas. *Quim. Nova*, 37(3), 504-512.
- Singh, B., Na, J., Konarova, M., Wakihara, T., Yamauchi, Y., Salomon, C., & Gawande, M. B. (2020). Functional Mesoporous Silica Nanoparticles for Catalysis and Environmental Applications. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*.
- Silva, V., Falco, V., Dias, M. I., Barros, L., Silva, A., Capita, R., ... & Poeta, P. (2020). Evaluation of the phenolic profile of *Castanea sativa* Mill. by-products and their antioxidant and antimicrobial activity against multiresistant bacteria. *Antioxidants*, 9(1), 87.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J., & Fyfe, L. (2001). The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese. *Food microbiology*, 18(4), 463-470.
- Solórzano-Santos, F., & Miranda-Novales, M. G. (2012). Essential oils from aromatic herbs as antimicrobial agents. *Current opinion in biotechnology*, 23(2), 136-141.
- Stroescu, M., Stoica-Guzun, A., Isopencu, G., Jinga, S. I., Parvulescu, O., Dobre, T., & Vasilescu, M. (2015). Chitosan-vanillin composites with antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 48, 62-71.
- Stine, K. J. (2017). Enzyme Immobilization on Nanoporous Gold: A Review. *Biochemistry insights*, 10, 1178626417748607.
- Tewari, G. (2007). 12 High-Pressure Processing of Foods. *Advances in thermal and non-thermal food preservation*, 203.

- Vacca, M. A. (2020). Design of Siliceous Materials from Industrial Waste.
- Walkling-Ribeiro, M., Rodríguez-González, O., Jayaram, S. H., & Griffiths, M. W. (2011). Processing temperature, alcohol and carbonation levels and their impact on pulsed electric fields (PEF) mitigation of selected characteristic microorganisms in beer. *Food Research International*, 44(8), 2524-2533.
- Walton, N. J., Mayer, M. J., & Narbad, A. (2003). Vanillin. *Phytochemistry*, 63(5), 505-515.
- Woranuch, S., & Yoksan, R. (2013). Eugenol-loaded chitosan nanoparticles: I. Thermal stability improvement of eugenol through encapsulation. *Carbohydrate Polymers*, 96(2), 578-585.
- Wu, C., Liu, Z., Sun, H., Wang, X., & Xu, P. (2016). Selective determination of phenols and aromatic amines based on horseradish peroxidase-nanoporous gold co-catalytic strategy. *Biosensors and Bioelectronics*, 79, 843-849
- Yang, N., Huang, K., Lyu, C., & Wang, J. (2016). Pulsed electric field technology in the manufacturing processes of wine, beer, and rice wine: A review. *Food Control*, 61, 28-38.
- Yang, W., Zhang, N., Wang, Q., Wang, P., & Yu, Y. (2020). Development of an eco-friendly antibacterial textile: lysozyme immobilization on wool fabric. *Bioprocess and biosystems engineering*.
- Zapelini, I. W., Silva, L. L., & Cardoso, D. (2018). Effect of hydrothermal treatment on structural and catalytic properties of [CTA]-MCM-41 silica. *Materials*, 11(5), 860.

Anexo 1. Ejemplos de aplicaciones de materiales inmovilizados

Referencia	Ac. esencial	Soporte	Alimento	Características del estudio
García-Ríos et al, 2018	Eugenol Carvacrol Vainillina Timol	Partículas de sílice (micropartículas de sílice amorfa y sílice mesoporoso) Partículas de celulosa Membrana celulósica	Vino	La unión covalente de los compuestos bioactivos a las partículas produjo una reducción significativa tanto en los valores de concentración mínima crítica inhibitoria (CMI) como en la viabilidad en comparación con la mayoría de los compuestos libres. Se confirmó la actividad antimicrobiana mejorada de los compuestos de los aceites esenciales después de su anclaje a un soporte, lo que resultó en valores de CMI de 10 a 90 veces más bajos que los de los compuestos bioactivos libres.
Peña-Gómez et al., 2020	Eugenol Carvacrol Timol	Micropartículas de sílice (10, 25 y 50 µm)	Cerveza	La determinación de la lixiviación potencial de los COE inmovilizados resultó en una liberación cero de las moléculas injertadas en las muestras de cerveza filtradas a través del lecho de partículas. Además, las diferencias entre cervezas de control y filtradas detectadas por un panel de jueces no capacitados fueron escasas o inexistentes.
Chen et al., 2019	Eugenol Carvacrol	Nanopartículas de quitosano	<i>in vitro</i>	Se realizaron ensayos antibacterianos con una bacteria gram negativa, <i>Escherichia coli</i> y una bacteria gram positiva, <i>Staphylococcus aureus</i> . El eugenol y el carvacrol injertados conferían actividad antioxidante a las nanopartículas de quitosano, y las nanopartículas de quitosano injertadas con componentes de aceite esencial lograron una actividad antibacteriana equivalente o mejor que la de las nanopartículas de quitosano sin modificar.
Peña-Gómez et al.	Eugenol Carvacrol	Micropartículas de sílice	Zumo de manzana	Se evaluó la influencia de la filtración sobre los parámetros físico-químicos (pH, acidez, sólidos solubles, color) y

Referencia	Ac. esencial	Soporte	Alimento	Características del estudio
al., 2019a	Vainillina			microbiológicos (mesófilos, psicrófilos y mohos y levaduras) del jugo de manzana fresco durante el almacenamiento refrigerado, así como la posible lixiviación de los compuestos bioactivos inmovilizados. El filtrado del jugo a través de las partículas funcionalizadas con eugenol no afectó fuertemente las propiedades físico-químicas, excepto por el atributo de color. El uso de vainillina inmovilizada afectó significativamente algunas características del producto, probablemente debido a la liberación parcial de compuestos a la matriz alimentaria. Todo esto, permitió desarrollar la tecnología de filtración como una alternativa prometedora a las tecnologías de pasteurización existentes para proporcionar productos alimenticios estables frente a microbios y de calidad aceptable.
Peña-Gómez et al., 2019b	Eugenol Carvacrol Vainillina Timol	Partículas de sílice	Agua	La eliminación de <i>Escherichia coli</i> se debió a una combinación de adsorción física e inactivación en contacto con las moléculas inmovilizadas. La eficacia de los soportes funcionalizados se mantuvo después de filtrar múltiples muestras y acondicionamiento.
Peña-Gómez 2020	Eugenol Carvacrol Vainillina Timol	Soportes celulósicos y silíceos	Agua Cerveza Zumo de naranja Zumo de manzana	Se ha evaluado el uso de nuevos soportes celulósicos y silíceos como sistemas de filtración para la estabilización y conservación de alimentos líquidos con el fin de, evitar o minimizar los cambios en las propiedades nutricionales, estructurales y organolépticas de los alimentos, ocasionados por la pasteurización térmica tradicional, y ofrecer una alternativa al problema de la baja viabilidad debida a los altos costos de inversión/producción al aplicar nuevas tecnologías no térmicas. El uso de estos soportes resultó ser efectivo como material filtrante para el tratamiento de agua, zumo de naranja,

Referencia	Ac. esencial	Soporte	Alimento	Características del estudio
				<p>cerveza y zumo de manzana, en un sistema de flujo continuo, eliminando la carga microbiana. Este sistema afectó al color del zumo filtrado, que no se mantuvo constante durante el proceso, lo que supone una importante desventaja que es necesaria abordar. La aplicación de partículas de sílice funcionalizadas con compuestos de aceites esenciales, con el fin de diseñar coadyuvantes de filtración con actividad antimicrobiana. La filtración a través de los soportes funcionalizados con los antimicrobianos naturales demostró ser eficaz en la reducción del recuento de la cepa patógena <i>Escherichia coli</i>, así como frente a la microflora endógena de la cerveza y el zumo (bacterias acidolácticas, aerobios mesófilos, psicrofilos, mohos y levaduras). La eficacia en el control microbiano se debe a la combinación de la adsorción física y la inactivación por contacto con los compuestos de aceites esenciales inmovilizados. Además, la evaluación de las propiedades físico-químicas y sensoriales de los alimentos líquidos demostró un efecto poco significativo. Por lo tanto, el sistema de conservación propuesto tiene un alto potencial para procesos de pasteurización en frío de bebidas.</p>
Ribes et al., 2017	Eugenol Timol	Micropartículas de sílice mesoporosa (MCM-41)	Mermelada de fresa	<p>Los aceites esenciales se han estudiado por sus propiedades antifúngicas contra una amplia variedad de microorganismos. Sin embargo, el fuerte olor que emiten, , dificulta su incorporación a las matrices alimentarias. La inmovilización de compuestos antimicrobianos en superficies sólidas podría ser una estrategia para reducir el impacto de los olores. Se evaluó la eficacia antifúngica de los agentes bioactivos de eugenol y timol, libres e inmovilizados en micropartículas de sílice</p>

Referencia	Ac. esencial	Soporte	Alimento	Características del estudio
				mesoporosa (MCM-41), y su impacto en el aroma final y la descomposición fúngica de la mermelada de fresa. La actividad antifúngica del eugenol y el timol inmovilizados mostró una mayor actividad antifúngica. Las mermeladas preparadas con eugenol inmovilizado sobre micropartículas MCM-41 no presentaron desarrollo de moho ni levadura durante el tiempo de almacenamiento estudiado. La evaluación sensorial confirmó que la inmovilización de eugenol y timol redujo su fuerte impacto típico en el sabor de la mermelada de fresa. Este trabajo demuestra el uso prometedor de eugenol inmovilizado en micropartículas de sílice mesoporosa para controlar la descomposición de la mermelada de fresa.
Nielsen <i>et al.</i> , 2018	Eugenol	Superficies de acero inoxidable y polietileno	Cualquiera	Las bacterias patógenas pueden propagarse entre alimentos a través de las superficies que comparten. Limitar la supervivencia en las superficies, presenta una oportunidad para limitar al menos una ruta de propagación. En este estudio, proponemos que se puede utilizar una simple capa con el aceite esencial (eugenol) para evitar el problema de la transferencia bacteriana. Dos materiales de uso común, acero inoxidable y polietileno, se recubrieron por adsorción física. Cuantificamos y visualizamos la colonización de superficies recubiertas y no recubiertas por tres bacterias: <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i> . No se detectaron células viables en superficies recubiertas con eugenol. El revestimiento demostró ser eficaz para prevenir la formación de biopelículas en superficies de acero inoxidable y polietileno. Nuestro estudio demuestra que una simple capa de eugenol puede prevenir la formación de biopelículas de <i>S.</i>

Referencia	Ac. esencial	Soporte	Alimento	Características del estudio
				<i>aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> y <i>P. fluorescens</i> en dos superficies de uso común.
Llorens Guillem, 2018	Eugenol Carvacrol Vainillina Timol	Micropartículas de sílice	Zumo de manzana	El objetivo de este trabajo fue la aplicación de un sistema de filtración basado en micropartículas de sílice funcionalizadas con componentes de aceites esenciales (carvacrol, eugenol, timol o vainillina), como método alternativo al tratamiento térmico convencional de zumo de manzana. Tras la confirmación de la inmovilización de los compuestos antimicrobianos sobre las partículas, se validó la capacidad del proceso de filtración para reducir al menos en 5 órdenes logarítmicos las colonias de <i>Escherichia coli</i> K12. Además, se evaluó la influencia del filtrado sobre los parámetros fisicoquímicos (pH, acidez, sólidos solubles y color) y microbiológicos (crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos, psicrófilos y mohos y levaduras) del zumo. Los resultados mostraron la capacidad de las partículas funcionalizadas para eliminar la microflora típica del zumo de manzana fresco y mantener la estabilidad microbiológica del producto a lo largo de su vida útil. La filtración a través de carvacrol, timol y vainillina inmovilizados afectó de forma significativa a algunas de las características del producto, probablemente por la liberación parcial de dichos compuestos a la matriz alimentaria. La optimización de la metodología de inmovilización es esencial como paso previo para la aplicación de la tecnología desarrollada en la industria. No obstante, se puede concluir que la inmovilización de estos compuestos bioactivos sobre la superficie de micropartículas de sílice presenta un alto potencial como tecnología de filtración para la

Referencia	Ac. esencial	Soporte	Alimento	Características del estudio
				pasteurización en frío de zumo de manzana.