

EL SINERGISMO DE ACEITES ESENCIALES COMO MODELO PARA PREVENIR EL DETERIORO OXIDATIVO Y MICROBIANO DE LOS ALIMENTOS

THE SYNERGISM OF ESSENTIAL OILS AS A MODEL TO PREVENT OXIDATIVE AND MICROBIAL DETERIORATION OF FOODS

Juncos, N. S.^{1,2}; Cravero Ponso, C. F.³; Olmedo, R. H.^{1,4}; Grosso, N. R.^{1,2}

¹Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Laboratorio de Tecnología de Alimentos (LabTA) / Química Biológica. Córdoba. Argentina.

²CONICET. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV). Córdoba. Argentina.

³Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Laboratorio de Lactología / Producción de Leche. Córdoba. Argentina.

⁴CONICET. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos Córdoba (ICYTAC). Córdoba. Argentina.

njuncos@agro.unc.edu.ar

RESUMEN

Existe una tendencia cada vez más notable sobre la toma de conciencia por parte de los adquirentes de los alimentos frente a lo que consumen. Hay un crecimiento marcado de la necesidad de generar alternativas naturales al uso de aditivos sintéticos empleados en alimentos. Los aceites esenciales ocupan un lugar en esta categoría por su procedencia de fuentes botánicas y tienen la capacidad de disminuir el deterioro en los alimentos. Las principales causas del deterioro son las oxidaciones de lípidos, principalmente mediante la autooxidación, y el crecimiento de microorganismos indeseados. Para optimizar el uso de los aceites esenciales y disminuir la concentración necesaria en el producto final se pueden emplear estrategias como la utilización de mezclas de diversos aceites esenciales con efectos aditivos o sinergismo. Este efecto puede ayudar a generar aditivos con actividades incluso mejores que los conservantes que ya se emplean en la industria. Asimismo, puede necesitarse menos concentración final, interfiriendo menos en las propiedades organolépticas del producto en el cual se lo utilice. En este artículo se mencionan los estudios relacionados al sinergismo aplicado en aceite comestible de girasol para probar la capacidad antioxidante de las combinaciones de aceites esenciales de orégano, laurel y peperina.

Palabras clave: aditivos naturales, conservantes naturales, antioxidantes, deterioro oxidativo, combinaciones sinérgicas.

ABSTRACT

There is an increasingly notable trend in the awareness of food purchasers of what they consume. There is a marked growth in the need to generate natural alternatives to the use of synthetic additives used in food. Essential oils rank in this category because of their origin from botanical sources and have the ability to decrease spoilage in food. The main causes of deterioration are lipid oxidations, mainly through autoxidation, and the growth of unwanted microorganisms. To optimize the use of essential oils and reduce the necessary concentration in the final product, strategies such as the use of mixtures of various essential oils with additive or synergistic effects can be used. This effect can help generate additives with even better activities than preservatives already used in industry. Also, less final concentration may be needed, interfering less with the organoleptic properties of the product in which it is used. This article mentions the studies related to the synergism applied in edible sunflower oil to test the antioxidant capacity of the essential oil combinations of oregano, bay leaf and peppermint.

Keywords: natural additives, natural preservatives, antioxidants, oxidative deterioration, synergistic combinations.

INTRODUCCIÓN A LA UTILIZACION DE CONSERVANTES ALIMENTARIOS

El deterioro de los alimentos es una problemática mundial importante, ya que es una de las causas por las cuales se generan pérdidas y desperdicios de los

mismos. Además, el consumo de alimentos en mal estado puede provocar enfermedades de transmisión alimentaria (ETAs), tanto como intoxicaciones y/o infecciones. Estos procesos que sufren los alimentos están dados principalmente por el deterioro oxidativo y microbiológico.

El deterioro oxidativo produce sabor rancio, disminuye la calidad nutricional y sensorial de los alimentos; además los compuestos químicos formados, tales como los radicales libres, pueden contribuir a producir enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer (Kalyanaraman, 2013). Por otro lado, el deterioro microbiológico puede darse por mohos, levaduras y bacterias, pudiendo provocar enfermedades como infecciones por el microorganismo en sí mismo e intoxicaciones por las toxinas que puedan producir.

La utilización de conservantes sirve para evitar estos problemas, haciendo que los alimentos perduren por más tiempo de manera inocua y apta para ser consumidos (aumento de su vida útil). Sumado a que contribuyen a mantener sus propiedades organolépticas como el olor, el sabor, el color y la textura. Esto es beneficioso para lograr tener productos óptimos, agradables y no perjudiciales para la salud desde que se producen, se transportan, se almacenan, hasta que llegan al adquirente y son consumidos.

En la actualidad existen conservantes de tipo sintéticos (también llamados “químicos”) y naturales. El butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), tertbutilhidroquinona (TBHQ) y galato de propilo son algunos del grupo de aditivos sintéticos que se emplean en alimentos y en la actualidad generan preocupación sobre su seguridad y cuestionamientos sobre su uso. Existen diversas pruebas que demuestran su posible toxicidad y potencial de ser causante de cáncer en humanos consumidos de manera crónica. Por lo tanto, existe un crecimiento del interés acerca de la utilización de los conservantes naturales provenientes de fuentes botánicas. La investigación acerca de estos últimos está en auge para optimizar sus propiedades naturales y obtener más eficiencia en su uso.

Los aceites esenciales (AEs) son compuestos naturales que se extraen de distintas partes de plantas o semillas y tienen potencial como antioxidantes y/o antimicrobianos. Si bien existen estudios acerca de la utilización del aceite esencial (AE) puro en distintos tipos de alimentos como carnes, lácteos, pescados, maní, etc. Existen otros como, por ejemplo, desarrollo de nanoemulsiones, nanocapsulas, biofilms, fracciones del AE obtenidas mediante destilación molecular, entre otras, que investigan otras formas de aplicación. Dentro de este último grupo de investigaciones, en este artículo vamos a mencionar y comentar el estudio del sinergismo que puede existir entre distintos tipos de AEs y la posibilidad de potenciar sus efectos para utilizar una menor concentración de conservante.

EL DETERIORO OXIDATIVO DE LOS ALIMENTOS

Es una de las principales causas del deterioro de los alimentos, en el cual se generan productos que confieren olores y sabores desagradables, se disminuyen las cualidades nutritivas y pueden generar compuestos tóxicos, teniendo como consecuencia una disminución de la calidad e inocuidad. Por lo tanto, es de interés general conocer estos procesos, entender cómo funcionan y de qué manera se pueden evitar.

La oxidación de los lípidos en los alimentos se produce por reacciones químicas como: el proceso de autooxidación, que es el principal mecanismo causante del deterioro oxidativo y mediante el proceso de lipólisis. Este último es producido por la acción catalítica de enzimas o por calentamiento en presencia de agua, como en el proceso de fritura, dando como producto principal ácidos grasos libres. A continuación, nos centraremos en el proceso de autooxidación para entender las reacciones químicas que suceden.

El proceso de la autooxidación se puede simplificar como una reacción en cadena de radicales libres que se divide en tres pasos: iniciación, propagación y terminación, tal como se muestra en la **tabla 1**.

En la primera etapa de la autooxidación ocurre la reacción de iniciación que consiste en la producción de los primeros radicales (R^{\bullet}) formados por la acción de promotores como las altas temperaturas, iones metálicos (cobre, hierro, etc.), exposición a la luz, oxígeno singulete (oxígeno en estado excitado), entre otros. En efecto se produce la extracción de un átomo de hidrogeno en la posición alfa relativa a los dobles enlaces del ácido graso y estas moléculas quedan con un electrón desapareado en su estructura, por lo cual se vuelven más reactivas y dan continuidad a la reacción en cadena.

En la etapa de propagación, los radicales (R^{\bullet}) captan electrones de otras moléculas para tener estabilidad electroquímica. En consecuencia, la molécula resultante se convierte en un nuevo radical con un electrón desapareado capaz de reaccionar con nuevas moléculas. En la **tabla 1**, se muestra esta etapa dividida en dos reacciones: en la primera el radical reacciona con el oxígeno dando como producto un radical peroxi (ROO^{\bullet}) y en la segunda el radical peroxi formado reacciona con otra molécula (RH) dando como producto un hidroperóxido más estable ($ROOH$) y un nuevo radical (R^{\bullet}). Este radical producido va a continuar reaccionando formando más productos reactivos y así sucesivamente continúa la propagación.

Finalmente, en la etapa de terminación, al tener una alta concentración de radicales se comienzan a encontrar y reaccionar entre sí para formar moléculas más estables. Por lo tanto, en esta etapa comienzan a extinguirse los radicales entre sí mismos.

Los hidroperóxidos productos de la etapa de propagación (ROOH) también sufren una serie de reacciones químicas que llevan a su ruptura y generación de compuestos secundarios como las cetonas, aldehídos, alcoholes, etc. Estos productos son los responsables de cambiar las características organolépticas del alimento confiriendo olor y sabor a rancio. Cuando estas características son percibidas en un análisis sensorial significa que la oxidación generalmente ya se encuentra en un proceso avanzado (Badui, 2006).

Estas reacciones dependen del tipo de lípido involucrado dado que, las grasas insaturadas son más rápidas en oxidarse que las saturadas, las poliinsaturadas mucho más, a la vez que los isómeros cis se oxidan con mayor velocidad que los trans. La reacción en cadena también depende de la distribución de los lípidos en el alimento y su área de exposición. Estos procesos son imprescindibles para comprender como funcionan los antioxidantes que estamos estudiando, así como los aceites esenciales.

Tabla 1: Reacciones en cadena de la autooxidación de lípidos.

ETAPAS	SUSTRATOS	PRODUCTOS
INICIACIÓN	Iniciador + RH	\longrightarrow R*
		Radical libre
PROPAGACIÓN	R* + O ₂	\longrightarrow ROO*
	ROO* + RH	\longrightarrow R* + ROOH
TERMINACIÓN	R* + R*	\longrightarrow RR
	R* + ROO*	\longrightarrow ROOR
	2RO* + 2ROO*	\longrightarrow 2ROOR + O ₂
	ROO* + ROO*	\longrightarrow ROOR + O ₂
	RO* + R*	\longrightarrow ROR
		Moléculas estables

Nota. El símbolo (*) representa un electrón desapareado en la molécula reactiva.

LOS ANTIOXIDANTES COMO ADITIVOS ALIMENTARIOS.

Los antioxidantes son capaces de detener, retardar e interferir la oxidación de un compuesto oxidable aun en concentraciones bajas. Son compuestos que tienen al menos un grupo hidroxilo, tiol o amino unido a un anillo bencénico y no son capaces de revertir los efectos una vez que se formaron los productos de la autooxidación. Cumplen su función previniendo la oxidación, pero no son eficaces en su acción cuando las grasas ya están en un proceso avanzado, porque la cantidad de radicales formados superan ampliamente la cantidad de antioxidante capaz de detener la reacción. Además, existen otros antioxidantes con acciones diferentes a las descritas con anterioridad, tales como, ser quelantes de iones metálicos, absorbentes de la radiación ultravioleta, eliminadores de oxígeno, desactivadores del oxígeno singulete, etc.

Los antioxidantes sintéticos como el BHA, BHT y TBHQ actúan donando protones a los radicales que se puedan formar, estabilizándolos y cortando la etapa de la propagación (simulando la etapa de terminación). Luego de esta reacción el antioxidante queda con un electrón desapareado (radical), pero al entrar en resonancia en sus anillos aromáticos dan lugar a compuestos más

estables que no continúan reaccionando, ya que por sí mismos pueden mantenerse en ese estado.

Los antioxidantes naturales cada vez tienen más importancia entre la sociedad, la ciencia e industrias, porque son una buena alternativa para emplear en los alimentos. Pueden servir para evitar los efectos adversos de los aditivos sintéticos que están siendo estudiados y a la vez proteger al alimento de su deterioro. Dentro de esta categoría se encuentran los aceites esenciales, cuyas propiedades antioxidantes han sido demostradas por diversos estudios, incluso varios de ellos realizados en los Laboratorios de Tecnología de Alimentos (LabTA) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

Como generalidad para que el antioxidante sea útil y de interés para utilizarlo en la industria tienen que ser de bajo costo, eficaz a bajas concentraciones (alto rendimiento), estables durante el procesamiento, baja toxicidad y no interferir negativamente con las cualidades organolépticas del alimento.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los AEs son compuestos orgánicos volátiles que se extraen de distintos materiales vegetales, por ejemplo:

hojas, cortezas, semillas, flores, frutos, etc. Su composición es una mezcla compleja, es decir, que la conforman muchas sustancias orgánicas. Por lo general, contienen algunos pocos compuestos denominados mayoritarios y el resto se encuentra en concentraciones muy pequeñas denominadas trazas. Por ejemplo, el aceite esencial de Peperina contiene aproximadamente 50 compuestos en total de los cuales un 70% pertenece a pulegona y mentona, y el otro 30 % al resto de compuestos.

Las moléculas que forman parte de los AEs en general son principalmente terpenos y compuestos fenólicos. Por otra parte, la gran mayoría tienen la ventaja de estar considerados dentro de la categoría de sustancias GRAS (Generalmente Reconocido como Seguro) por el ente regulador de los alimentos en Estados Unidos, es decir, la FDA (United States, Food and Drug Administration).

El método que se utiliza tradicionalmente para su extracción es la destilación por arrastre con vapor de agua. Sus nombres reconocidos hacen referencia a la planta de la cual derivan y tienen un olor muy intenso al ser extractos concentrados. Como estos son derivados de fuentes vegetales son aceptados por la población como aditivos más saludables, por lo cual pueden conferir un valor agregado al alimento y suplir la necesidad de nuevas alternativas naturales.

En la actualidad los AEs son conocidos por la sociedad, ya que son utilizados en diversos productos cotidianos no solo alimentarios, sino además en perfumes, cosméticos, medicinas alternativas, entre otros. También, tienen la ventaja de provenir de fuentes renovables, haciendo más sustentable su producción a diferencia de los conservantes sintéticos que provienen de derivados del petróleo (fuente no renovable).

Por último cabe destacar que el AE tiene propiedades muy aromáticas, lo cual puede conferir sabor y olor, dependiendo de su concentración final en la matriz que este inmerso. Por lo tanto, se puede aprovechar estas características para utilizarlos como aditivos saborizantes y aromatizantes. Sin embargo, esto puede ser algo indeseado para otro tipo de producto alimentario al que se lo quiera adicionar. Por esto, a la hora de utilizarlos como conservantes es necesario tener en cuenta si nos interesa tener su olor y sabor o, por el contrario, si preferimos minimizar la concentración para que ejerza su acción y no interfiera tanto en las características organolépticas del alimento.

PROPIEDADES CONSERVANTES DE LOS ACEITES ESENCIALES PARA SU APLICACIÓN EN ALIMENTOS

Actualmente existen diversos estudios sobre las propiedades de los AEs, dos de las más estudiadas son la capacidad antibacteriana y la antioxidante. En cuanto a

la evaluación de las propiedades antibacterianas se investigan los efectos bacteriostáticos y/o bactericidas frente a microorganismos patógenos comunes en los alimentos tales como, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*. También, se estudia el efecto sobre bacterias benéficas como, por ejemplo, bacterias lácticas en productos lácteos para evaluar su interacción con los microorganismos deseados en un alimento en particular. En cuanto a las propiedades antioxidantes de los aceites esenciales, se han estudiado en diferentes tipos de alimentos con matrices diversas tales como maní, aceite de girasol, aceite de oliva, queso crema, carnes, entre otros. Esta propiedad tiene gran importancia en alimentos ricos en lípidos porque son los más susceptibles de sufrir oxidaciones.

En general los principales componentes antioxidantes de los AEs son los compuestos fenólicos (moléculas orgánicas con al menos un grupo fenol unido a un grupo hidroxilo) y los terpenos (moléculas orgánicas derivados del isopreno). Los compuestos fenólicos pueden ejercer su acción mediante tres mecanismos: a) funcionando como agente quelante de iones metálicos capaces de participar en la etapa de iniciación de la autooxidación, b) participando en la eliminación de radicales simulando la etapa de terminación e inhibiendo la propagación de nuevos radicales como especies reactivas de oxígeno, c) eliminando los carbonilos derivados de los lípidos capaces de reaccionar con otras moléculas del alimento tales como proteínas, monosacáridos, etc. (Zamora, et al. 2016). Por otro lado, los terpenos en presencia de lípidos insaturados reaccionan oxidándose conjuntamente, formando dos radicales que reaccionan entre ellos, terminando así con sus actividades autooxidativas y aumentando la tasa de terminación (Amorati, et al. 2013).

Como sabemos, los AEs tienen muchas posibilidades de aplicación en los alimentos, a la vez que pueden ejercer su acción por diversas vías. Esto lo hace aún mucho más interesante, porque se pueden aprovechar sus cualidades y encontrar maneras más efectivas para su empleo como conservante.

SINERGISMO ENTRE CONSERVANTES DE ALIMENTOS

En este artículo nos vamos a referir al sinergismo como un efecto producido por la suma de dos o más sustancias, que dan como resultado una actividad mayor en comparación a la actividad de cada sustancia por separado. El estudio del sinergismo entre aditivos conservantes busca optimizar la actividad antioxidante o antimicrobiana, a través de la combinación entre diferentes sustancias que ejercen su función mediante diferentes vías, por lo cual la sumatoria de sus efectos es

mayor. Por ejemplo, se ha demostrado que el timol interrumpe y desintegra la membrana externa de bacterias Gramnegativas permitiendo que el otro compuesto, el eugenol, acceda al citoplasma y destruya las enzimas, ejerciendo así un efecto sinérgico entre ellos (Marchese, et al. 2017).

Las mezclas de diferentes antioxidantes pueden inhibir la autooxidación en diferentes fases a la vez. En cuanto a los conservantes sintéticos se sabe que su efectividad aumenta cuando se combinan entre sí gracias al efecto sinérgico. Un ejemplo muy común es la utilización de combinaciones de antioxidantes con funciones quelantes de iones metálicos que evitan la iniciación de la autooxidación, sumado a antioxidantes que actúan como secuestrantes de radicales libres. Esta combinación funciona gracias a que el agente quelante reduce la cantidad de radicales libres que se forman en el inicio, por lo tanto, el antioxidante secuestrante tiene que reaccionar menos, quedando una mayor disponibilidad del mismo.

En el caso de los AEs completos, como son una mezcla compleja tienen mayor actividad a comparación de cuando se utiliza solo una mezcla de dos o tres de sus componentes mayoritarios. Estos resultados se deben a que los demás componentes trazas del AE completo pueden ser críticos para potenciar y tener efectos sinérgicos. Este tipo de efecto también puede evidenciarse no solo entre moléculas del mismo AE, sino también cuando se utilizan combinaciones de AEs diferentes, en el cual los componentes de uno pueden ayudar a potenciar los efectos del otro.

En un estudio realizado con la combinación de AEs de *Apium graveolens* L., *Thymus vulgaris* L. y *Coriandrum sativum* se evidenció que la actividad antioxidante fue siempre mayor para las mezclas entre ellos que para el aceite esencial puro (Crespo, et al. 2019). El sinérgico en combinaciones variadas de AEs con diferente composición química puede llevar a encontrar alternativas con mejor actividad que los conservantes sintéticos. Además, permitiría disminuir la dosis de los AEs en el alimento, gracias a que su función es mayor, y así evitar o minimizar los cambios en las propiedades organolépticas del alimento.

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y SINÉRGICO DE ACEITES ESENCIALES APLICADO EN ACEITE DE GIRASOL

Los aceites comestibles según el código alimentario argentino (CAA) son aceites obtenidos a partir de semillas o frutos oleaginosos elaborados en condiciones de higiene. Deberán tener aspecto límpido a 25 ° C, sabor y olor agradable. Además, solo pueden contener los componentes propios del aceite que integra la composición de las semillas o frutos de que provienen y los aditivos autorizados. En la **tabla 2** se mencionan los antioxidantes permitidos para adicionar a aceites comestibles y su concentración máxima permitida. Se puede observar que existen en el código alimentario las recomendaciones para la utilización de mezclas con propiedades sinérgicas, pero esto es para los conservantes sintéticos, no así para AEs.

Tabla 2: Concentraciones máximas de antioxidantes que pueden ser adicionados en aceites y grasas vegetales comestibles con la exclusión de los aceites de oliva de presión no refinados.

ANTIOXIDANTE/S	AISLADO	MEZCLAS
Galato de propilo, galato de octilo y galato de dodecilo	100 mg/kg	100 mg/kg
Hidroxianisol butilado (BHA)	200 mg/kg	-
Hidroxitolueno butilado (BHT)	200 mg/kg	-
Terbutilhidroquinona (TBHQ)	200 mg/kg	-
Galatos, BHA y/o BHT	-	200 mg/kg. Pero, no más de 100 mg/kg de galatos
TBHQ con BHA y BHT	-	200 mg/kg
Tocoferoles naturales o sintéticos	Concentración que no exceda la necesaria para el efecto deseado	-
Palmitato y estearato de ascorbilo	200 mg/kg (200 ppm)	200 mg/kg (200 ppm)
Ácido cítrico, ácido fosfórico, citrato de monoisopropilo, ésteres de monoglicéridos con ácido cítrico	100 mg/kg	100 mg/kg

Nota. Información recopilada del Código Alimentario Argentino. Artículo 523bis (Res 2012, 19.10.84). Capítulo VII.

En el Laboratorio de Tecnología de Alimento (LabTA - FCA-UNC) y el Laboratorio de Lactología (FCA-UNC) se está trabajando en conjunto con el objetivo de evaluar los efectos sinérgicos entre aceites esenciales de orégano, laurel y peperina aplicados en una matriz

lipídica (en aceite comestible de girasol). El objetivo de estos estudios es comprender mejor los efectos del sinérgico en la capacidad antioxidante de los AEs aplicado en un alimento, es decir, estudiar su efecto de manera directa.

Es de interés lograr un producto final (aceite comestibles más mezclas de AEs, (**Figura 1**) que cumplan con las recomendaciones dadas por el código alimentario. Por un lado, demostrando su función como antioxidante evitando la aparición de olor y sabor desagradable. Por

otro lado, lograr combinaciones con actividad suficiente a concentraciones bajas, similares a las recomendaciones para mezclas de los antioxidantes sintéticos.



Figura 1: Aceite de girasol con diferentes mezclas de aceites esenciales de orégano, laurel y peperina.

En el ámbito experimental se realizó un test de oxidación acelerada a 60°C durante 28 días. Se midieron indicadores químicos y volátiles producidos por la autooxidación. Dentro de los indicadores químicos se determinaron los peróxidos formados, los dienos conjugados y el índice de p-anisidina. Además, se evaluaron los indicadores volátiles de oxidación, productos secundarios formados por la descomposición y ruptura de hidroperóxidos, en muestras colocadas en

viales de vidrio (**Figura 2**) para su posterior medición por CG-MS.

En un futuro próximo se continuará trabajando sobre otros tipos de alimentos tales como, quesos y maní, sumado al estudio del sinergismo en las actividades antimicrobianas y análisis sensoriales. Estos últimos, son necesarios para verificar como afectan en las propiedades organolépticas y ver si se pueden mejorar con respecto a la utilización del AE individual.



Figura 2: Viales que contienen muestras del aceite de girasol con el agregado de mezclas de aceite esencial para determinación de compuestos volátiles por medio de CG-MS.

BIBLIOGRAFÍA

- Amorati, R., Foti, M. C. y Valgimigli, L. (2013). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61 (46), 10835-10847. DOI: 10.1021/jf403496k.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. (4ta. Ed.). México: Pearson Educación.
- Crespo, Y. A., Bravo Sánchez, L. R., Quintana, Y. G., Cabrera, A. S. T., Bermúdez del Sol, A., y Mayancha, D. M. G. (2019). Evaluation of the synergistic effects of antioxidant activity on mixtures of the essential oil from *Apium graveolens* L., *Thymus vulgaris* L. and *Coriandrum sativum* L. using simplex-lattice design. *Heliyon*, 5(6), e01942. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01942>.
- Kalyanaraman B. (2013). Teaching the basics of redox biology to medical and graduate students: Oxidants, antioxidants and disease mechanisms. *Redox biology*. 1(1),244–257. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2013.01.014>.
- Marchese, A., Barbieri, R., Coppo, E., Orhan, I., Daglia, M. y Ajami, M. (2017). Antimicrobial activity of eugenol and essential oils containing eugenol: A mechanistic viewpoint. *Critical Reviews in Microbiology*. doi: 10.1080/1040841X.2017.1295225.
- Zamora, R., y Hidalgo, F. J. (2016). The triple defensive barrier of phenolic compounds against the lipid oxidation-induced damage in food products. In *Trends in Food Science and Technology*. Vol. 54, pp. 165–174. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.06.006>.