



Silvia Matiacevich
silvia.matiacevich@usach.cl

Encapsulación de aceite esencial de lemongrass en el desarrollo de ingredientes naturales en polvo para preservación de alimentos: Una revisión

(Encapsulation of lemongrass essential oil in the development of powdered natural ingredients for food preservation: A review)

Silvia Matiacevich y Carlos Sáez

Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (DECYTAL).
Facultad Tecnológica. Universidad de Santiago de Chile

Resumen

Debido a la percepción negativa de los consumidores por el uso de aditivos sintéticos en los alimentos ante los constantes riesgos de enfermedades transmitidas por alimentos, como en el desarrollo de trastornos agudos y enfermedades crónicas, además de los riesgos ambientales asociados, el uso de aceites esenciales se presenta como una alternativa para el desarrollo de preservantes naturales. El objetivo de este trabajo fue revisar los aspectos más importantes para el desarrollo de preservantes a base de aceite esencial de lemongrass encapsulado. En particular, este aceite ha mostrado actividad antimicrobiana frente a un amplio espectro de microorganismos. Sin embargo, los aceites esenciales no pueden ser incorporados directamente en un alimento, debido a que son insolubles en agua, volátiles, y sensibles al oxígeno, a la temperatura y a la luz, además de generar sabores y olores ajenos al alimento. Una opción para evitar dichos problemas es la tecnología de encapsulación, que consiste en contener un compuesto activo dentro de un material encapsulante, generando partículas de tamaños micro y nanométricos, lo cual permite una liberación prolongada del compuesto. Así, es posible desarrollar un ingrediente, en base a aceite esencial de lemongrass encapsulado, para extender la vida útil de los alimentos.

Palabras claves: Nanoencapsulación, microencapsulación, aceite esencial de lemongrass, preservación de alimentos.

Abstract

Because of the negative perception from consumers about the use of synthetic additives in foods before constants risks of foodborne diseases, as in the development of acute disorders and chronic diseases, and the environmental risks associated, the use of essential oils is presented as alternative for natural preservatives development. The objective of this work was to review the most important aspects for the development of preservatives based on encapsulated lemongrass essential oil. Particularly, this oil has showed antimicrobial activity against a broad spectrum of microorganisms. However, essential oils can't be incorporated into foods directly, because of these are water insoluble, volatile, and sensitive to oxygen, temperature and light. An option to avoid mentioned troubles is the encapsulation technology, that consists in confining an active compound into an encapsulant material, generating particles of micro and nanometric sizes, which allows a controlled release of the compound in a specific site. Thus, is possible developing a preservative ingredient, based on encapsulated lemongrass essential oil, to extend the shelf life of foods.

Keywords: Nanoencapsulation, microencapsulation, lemongrass essential oil, food preservation.



Introducción

Las enfermedades transmitidas por alimentos son una importante preocupación en las sociedades modernas debido a sus efectos potencialmente letales en humanos, producto de la proliferación microorganismos patógenos. Además, el crecimiento de microorganismos en los alimentos puede conducir al deterioro y pérdida de calidad de estos (Sacchetti *et al.* 2005). En la actualidad, el control de estos problemas se hace, principalmente, mediante el uso de aditivos sintéticos, aunque en forma limitada, ya que estos están asociados al desarrollo de cáncer, toxicidad aguda, teratogénesis, además de ser degradados lentamente, pudiendo conducir a problemas ambientales (Faleiro, 2011). Sin embargo, en vista de la percepción negativa de los aditivos sintéticos por parte de los consumidores modernos, quienes demandan alimentos frescos, seguros y saludables, se ha estudiado el uso de ingredientes activos de origen natural (Ekpenyong y Akpan, 2017). Empero, la aplicación directa de agentes activos en la superficie de los alimentos puede generar beneficios limitados, ya que las sustancias activas pueden ser rápidamente

neutralizadas durante el metabolismo tisular o ser diluidas hacia el interior del producto (Min y Krochta, 2005). Entre los agentes activos con elevado potencial como preservantes naturales, una posibilidad es el uso de aceites esenciales, que son líquidos aceitosos aromáticos obtenidos de plantas (flores, semillas, hojas, etc.) (Burt, 2004), los cuales exhiben una fuerte actividad antimicrobiana, así como antioxidante, producto de sus compuestos terpenoides y aromáticos, además de marcadas características sensoriales (Prakash *et al.*, 2015; Rivera Calo *et al.*, 2015). Sin embargo, el uso directo de aceites esenciales en alimentos tiene limitaciones, debido a que los primeros son altamente volátiles, insolubles en agua, sensibles al oxígeno, a la luz y a la temperatura, además pueden generar olores y/o sabores indeseados (Raybaudi-Massilia *et al.*, 2008; Beyki *et al.*, 2014). En este sentido, una alternativa para la incorporación de aceites esenciales en alimentos es la tecnología de encapsulación, limitando la degradación de los aceites esenciales durante el procesado y el almacenamiento, además de controlar su liberación en el

tiempo y/o sitio específico (Shahidi y Han, 1993; Bakry *et al.*, 2016; Navarro *et al.*, 2016).

El objetivo de este trabajo fue revisar los aspectos más relevantes a considerar para el desarrollo de ingredientes a base de aceite esencial de lemongrass encapsulado, tales como las características del aceite, actividad antimicrobiana, estabilidad, algunos métodos de encapsulación, materiales para encapsulación, caracterización del ingrediente en polvo y la cinética de liberación del aceite.

Aceite esencial de lemongrass o hierba de limón

Cymbopogon citrates (DC.) stapf, comúnmente conocida como *lemongrass* o hierba de limón (Figura N° 1a), es una hierba perenne ampliamente cultivada en los trópicos y sub-trópicos, con aspecto de pasto alto y grueso, con un fuerte sabor a limón (Naik *et al.*, 2010); a partir de esta hierba, se extrae el aceite esencial de lemongrass (Figura N° 1b), normalmente, por medio de destilación, prensado en frío o maceración (Rivera Calo *et al.*, 2015).



Figura N° 1a. Planta hierba de limón o lemongrass.



Figura N° 1b. Aceite esencial de lemongrass.

El aceite esencial de *lemongrass* es conocido por sus propiedades antimicrobianas, antifúngicas, antioxidantes, analgésicas, antinociceptivas, neuroprotectoras e insecticidas (Kpoviessi *et al.*, 2014). En cuanto a su composición química, el mayor constituyente es citral, una mezcla de geranial y neral, presente en 70-85% del total, responsable del aroma a limón del *lemongrass*, mientras que el resto de compuestos corresponden a geraniol, citronelol, linalool, limoneno, entre otros (Gupta *et al.*, 2016; Ekpenyong y Akpan, 2017). En particular, este aceite esencial muestra actividad antimicrobiana frente a un rango diverso de microorganismos, incluyendo levaduras, bacterias gram-positivas y gram-negativas (Bakry *et al.*, 2016), la cual es atribuida, principalmente, a su elevado contenido de citral (Adukwu *et al.*, 2016).

En general, tanto el aceite esencial de *lemongrass* como el citral son reconocidos como GRAS para su uso como saborizantes, y están aprobados como aditivos alimentarios para consumo humano (Adukwu *et al.*, 2016). A pesar de su reconocida capacidad antimicrobiana, el aceite esencial de *lemongrass* ha sido relativamente poco estudiado como preservante de alimentos, aunque se ha demostrado su efectividad en jugo de fruta (Raybaudi-Massilia *et al.*, 2006), manzana Fuji (Raybaudi-Massilia *et al.*, 2008), chocolate (Kotzekidou *et al.*, 2008), carne molida (Barbosa *et al.*, 2009)

y en lechuga romana, lechuga escarola y espinaca (Moore-Neibel *et al.*, 2012). Así, estos antecedentes dan cuenta del gran potencial del aceite esencial de lemongrass como aditivo natural.

Determinación de actividad antimicrobiana del aceite esencial de *lemongrass*

Para verificar y cuantificar la actividad antimicrobiana del ingrediente, se pueden emplear diferentes test *in vitro*, los que pueden ser clasificados como métodos de difusión, de dilución o bioautográficos, aunque no se han desarrollado estándares para evaluar la actividad antimicrobiana de potenciales preservantes alimentarios (Burt, 2004). Así, se pueden emplear distintos tipos de bioensayos, como difusión en disco o dilución en caldo o agar; en particular, existen dos parámetros relevantes para definir actividad antimicrobiana, i) la concentración mínima inhibitoria (CMI), que corresponde a la concentración mínima de agente antimicrobiano que inhibe completamente el crecimiento de un microorganismo en placas de microdilución o en tubos; y ii) la concentración mínima bactericida, que se define como la concentración que elimina el 99,9%, o más, del inóculo inicial (Chouhan *et al.*, 2017). En el caso del *lemongrass*, se han reportado valores de CMI de 0,06%v/v frente a *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*, 0,12%v/v frente a

Escherichia coli, y 0,50%v/v contra *Pseudomonas aeruginosa* (Hammer *et al.*, 1999; Naik *et al.*, 2010). En el caso de alimentos, se han obtenido concentraciones de agente antimicrobiano mayores que las reportadas en pruebas *in vitro*, desde el doble, en el caso de leche semidescremada, hasta 100 veces más, en queso crema, lo que puede ocurrir debido a las propiedades intrínsecas del alimento (composición, propiedades físicas y químicas), y a factores externos, como temperatura y condiciones de envasado (Burt, 2004), lo cual debe ser considerado al momento de evaluar la actividad antimicrobiana de un ingrediente.

Estabilidad del aceite esencial de *lemongrass*

Con respecto a la estabilidad de los aceites esenciales, en general, son compuestos inestables (Alikhani-Koupaei *et al.*, 2014) y volátiles, pudiendo ser degradados fácilmente si no son protegidos de factores externos (Rungsardthong Ruktanonchai *et al.*, 2011; El Asbahani *et al.*, 2015). Específicamente, la degradación de los aceites esenciales depende de factores como temperatura, luz y oxígeno; adicionalmente, composición, estructura química y presencia de impurezas (agua, metales pesados) pueden generar inestabilidad, donde los compuestos pueden ser transformados químicamente o enzimáticamente por oxidación, isomerización, ciclación o deshidrogenación (Turek y Stintzing, 2013).

Durante el procesamiento, transporte, almacenamiento e incluso consumo de productos con aceites esenciales, los compuestos sensibles pueden ser degradados hasta el punto de ser inefectivos, o incluso peligrosos, donde se pueden formar derivados tóxicos; por ejemplo, la diepoxidación de limoneno conduce al carcinógeno diepoxilimoneno (Hădărugă *et al.*, 2014).

De acuerdo a la literatura existente, los cambios oxidativos y reacciones de deterioro de los aceites esenciales se han abordado escasamente, los cuales pueden conducir a alteraciones sensoriales y farmacológicas relevantes; la importancia de los factores externos en la estabilidad físico-química de los aceites esenciales revela que esta materia aún necesita una profunda evaluación científica (Turek y Stintzing, 2013). En este sentido, una alternativa para incorporar y proteger los aceites esenciales es la tecnología de encapsulación, limitando su degradación y permitiendo su liberación controlada (El Asbahani *et al.*, 2015; Prakash *et al.*, 2015; Rivera Calo *et al.*, 2015; Bakry *et al.*, 2016).

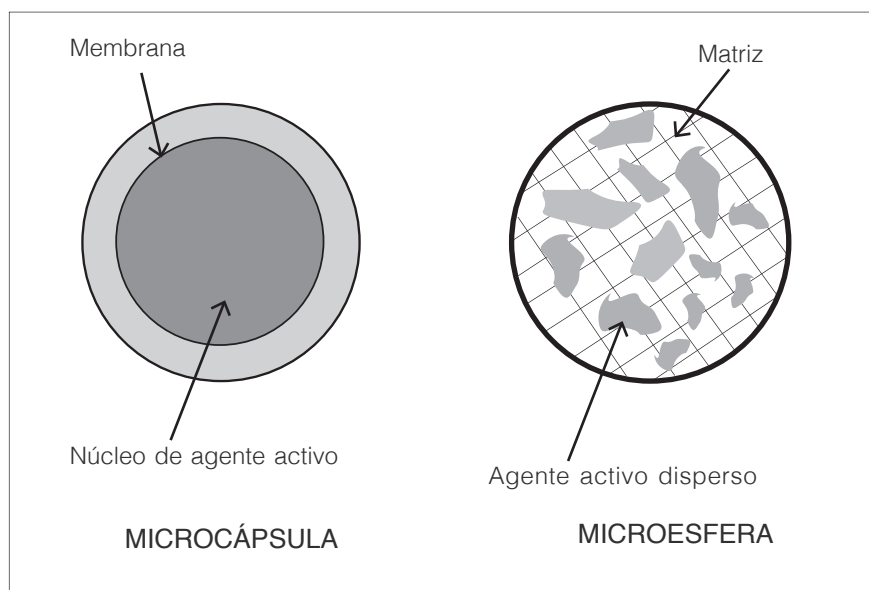


Figura N° 2. Esquema de microcápsula y microesfera (modificado de Madene *et al.*, 2006).

Métodos de encapsulación

La tecnología de encapsulación es el proceso usado para atrapar una sustancia o mezcla de sustancias, denominada material de núcleo o agente activo, dentro de otro material o sistema, denominado cáscara, portador, pared o encapsulante, distinguiéndose dos clases de encapsulados, microcápsula o reservorio, en el cual la sustancia activa es rodeada por una capa externa de material de pared, pudiendo haber múltiples capas; y microesfera o matriz, en que la sustancia activa se encuentra dispersa en el material de pared (Madene *et al.*, 2006; Bonat Celli *et al.*, 2015), como se aprecia en la Figura N° 2. Por otro lado, de acuerdo al tamaño de partícula, se distingue entre microencapsulación, con diámetros entre 3 y 800 μm ; y nanoencapsulación, con diámetros entre 10 y 1000 nm (Ezhilarasi *et al.*, 2013). A pesar de que existe una variedad de métodos de encapsulación, los más aplicados en la industria alimentaria son emulsificación, secado spray y liofilización.

i) Emulsificación

Una emulsión consiste de dos líquidos inmiscibles (usualmente aceite y agua), donde uno de estos líquidos se encuentra disperso como pequeñas gotitas en el otro; cabe resaltar que las emulsiones son sistemas termodinámicamente inestables, donde las gotitas dispersas eventualmente se unirán unas con otras hasta alcanzar la separación de ambos líquidos, razón por la cual se deben incluir agentes denominados estabilizantes para extender la estabilidad de una emulsión en el tiempo (McClements, 2016). En el caso de la emulsificación, la dispersión se consigue por medio de un homogenizador (de alta velocidad, alta presión, ultrasonido, etc.), siendo generalmente aplicada para la encapsulación de agentes activos en soluciones acuosas, pudiendo ser usados en estado líquido o ser deshidratados (por secado spray o liofilización) para formar polvos (Bakry *et al.*, 2016).

ii) Secado spray

El secado spray es una operación unitaria por la cual un producto líquido es atomizado en una corriente de gas caliente (aire) para obtener instantáneamente un polvo. El líquido de alimentación puede ser una solución, una emulsión o una suspensión (Gharsallaoui *et al.*, 2007). Este proceso implica la dispersión de la sustancia a ser encapsulada en un material portador, seguido por la atomización de la mezcla en una cámara caliente (Madene *et al.*, 2006). Así, el secado spray puede atrapar compuestos activos dentro de una capa externa, mientras transforma la alimentación líquida en una forma seca y estable (Anandharamakrishnan y Padma Ishwarya, 2015).

A modo de lograr una buena eficiencia de encapsulación por secado spray, se deben considerar dos aspectos fundamentales, i) las condiciones de operación, específica-



mente, temperaturas de alimentación y del aire, a la entrada y a la salida, y ii) características de los materiales de pared, tales como solubilidad, peso molecular, transición vítrea, cristalinidad, propiedades emulsificantes, etc. (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Jafari *et al.*, 2008).

A pesar de que es ampliamente usado, el secado spray presenta ciertas desventajas, tales como pérdida de compuesto activo por volatilización, presencia de material de núcleo en la superficie, microfisuras en la superficie de las partículas, limitada disponibilidad de materiales de pared, entre otros; otra desventaja importante es la generación de polvo fino, el cual requiere un proceso posterior de aglomeración (Medene *et al.*, 2006; Bonat Celli *et al.*, 2015; Bakry *et al.*, 2016).

iii) Liofilización

La liofilización o criodesecación es un proceso de secado en el cual el solvente y/o medio de suspensión es congelado y luego sublimado, pasando del estado sólido directamente al estado gas, lo cual se consigue al reducir la presión y proporcionar suficiente calor al hielo para su sublimación (Oetjen y Haseley, 2004). Este proceso se puede dividir en tres etapas, congelación (solidificación), secado primario (sublimación del hielo) y secado secundario (desorción del agua descongelada) (Abdelwahed *et al.*, 2006).

Debido a que la liofilización se hace a baja temperatura, la mayor ventaja de esta técnica es la capacidad de secar compuestos sensibles al calor (probióticos, enzimas, etc.); además, el contenido de humedad del producto es controlable, y los deshidratados muestran una calidad

superior (color, textura), rápida reconstitución y larga vida útil (Garti y McClements, 2012; Ezhilarasi *et al.*, 2013).

La encapsulación de ingredientes alimentarios por liofilización se logra a través de la disolución, dispersión o emulsificación de los materiales de núcleo en matrices de los materiales de pared, luego co-liofilizando, resultando en una estructura porosa, irregular y sin encogimiento (Fang y Bhandari, 2010). Entre los aspectos más importantes en la encapsulación por liofilización se deben considerar i) formulación, que implica la selección de materiales de pared y la preparación de soluciones con material de matriz, donde se debe considerar un agente crioprotector (trehalosa, sacarosa, sorbitol, dextrano, etc.), debido al estrés mecánico generado por los cristales de hielo, y ii) condiciones de proceso, como rapidez de congelación, presión y temperatura de cámara, temperatura crítica del sistema y tiempo de operación (Abdelwahed *et al.*, 2006; Garti y McClements, 2012).

En cuanto a las principales desventajas de la liofilización, se mencionan alto uso de energía, largo tiempo de procesamiento (mayor a 20 horas), formación de estructuras porosas que pueden afectar la estabilidad del agente activo, así como mayores costos de producción en comparación con otros métodos de secado (30 a 50 veces más que el secado spray) (Bonat Celli *et al.*, 2015; Bakry *et al.*, 2016).

iv) Materiales para encapsulación de aceites esenciales

En el caso de la encapsulación de aceites esenciales, existen diferentes materiales, entre emulsificantes y materiales de pared, principalmen-

te, carbohidratos, proteínas, lípidos y gomas; a su vez, estos materiales pueden provenir de diferentes orígenes, como vegetal (almidón, celulosa, cera), animal (quitosano, caseína, suero de leche), marino (alginato, goma xantana) y microbiano (dextrinas, ácidos grasos, caseína) (Majeed *et al.*, 2015; Vishwakarma *et al.*, 2016). Sin embargo, en la industria alimentaria, sólo algunos de los materiales mencionados son utilizados, debido a que deben ser de grado alimentario, relativamente baratos, además de ser producidos de forma económica, reproducible y robusta (Garti y McClements, 2012).

En el caso de la encapsulación de lemongrass, a nivel experimental, se han probado diferentes materiales; por ejemplo, Salvia-Trujillo *et al.* (2013) elaboraron nanoemulsiones con Polisorbato 80 y alginato; por otro lado, Riquelme *et al.* (2017) formaron films activos a base de alginato, aceite de lemongrass y caseinato de sodio; en otro trabajo, Sosa *et al.* (2011) utilizaron sacarosa, trehalosa y maltodextrinas, usando la técnica de secado spray; por otra parte, Phunpee *et al.* (2017) utilizaron ciclodextrinas, formando cápsulas por medio de secado spray; por último, Alarcón-Moyano *et al.* (2017) elaboraron films activos a base de alginato, en combinaciones con trehalosa, almidón modificado y Polisorbato 20 con el fin de proteger aceite esencial de lemongrass.

Caracterización del ingrediente en polvo

La caracterización de las nano o microcápsulas es una importante cuestión para entender los aspectos funcionales de los compuestos bioactivos (Kwak, 2014). Como en el caso de otros polvos, las propie-

dades físico-químicas de los encapsulados se pueden dividir en primarias o fundamentales (densidad, forma, etc.) y secundarias o funcionales (rapidez de sedimentación, tasa de rehidratación, etc.), donde las segundas dependen de las primeras (Bonat Celli *et al.*, 2015).

Las caracterizaciones física, estructural y química de las formulaciones de aceites esenciales encapsulados son fundamentales para evaluar las variables que afectan al proceso de optimización y la funcionalidad del producto (Vishwakarma *et al.*, 2016); así, una vez que se obtiene el ingrediente en polvo, procede la medición de distintos parámetros importantes como eficiencia de encapsulación, tamaño de partícula, estabilidad a la humedad relativa, grado de protección del agente y caracterización de la superficie por microscopía (Pérez-Alonso *et al.*, 2003), incluyéndose técnicas como cromatografía líquida de alta resolución, difracción láser, espectroscopia de masa, microscopía electrónica de barrido, resonancia magnética nuclear, difracción de rayos X, entre otras (Kwak, 2014).

En la Figura N° 3 se puede observar las diferentes estructuras que se pueden obtener dependiendo del método de secado, por liofilización (Figura N° 3a) o por secado por aspersion (Figura N° 3b) de un aceite esencial de *lemongrass* encapsulado utilizando como agentes encapsulantes alginato, capsul y maltodextrinas. Las diferentes estructuras obtenidas como matriz (Figura N° 3a) o como microcapsulas (Figura N° 3b) podrían influir las características físicas del polvo, así como su característica activa como antioxidante y antimicrobiana y su liberación en el tiempo. Es por ello la importancia del estudio de caracterización del ingrediente en polvo.

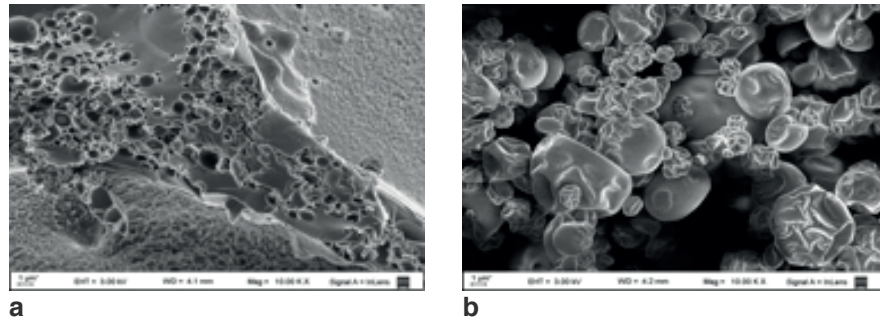


Figura N° 3. Micrografía por microscopía electrónica de barrido (SEM) de polvos obtenidos por a) liofilización o b) secado por aspersion de aceite esencial de lemongrass encapsulado utilizando alginato, capsul y maltodextrina como agentes encapsulantes. Magnitud: 10.000X. Polvos previamente metalizados con oro.

Cinética de liberación del aceite esencial

A modo de estimar la eficiencia de un ingrediente como preservante, es necesario conocer la rapidez de liberación del compuesto activo encapsulado hacia el alimento, lo que se denomina cinética de liberación (Figura N° 4), con un perfil de concentración-tiempo específico, donde se distinguen tres tipos de perfiles principales, repentino, en el cual el compuesto activo es liberado rápidamente al inicio, re-

tardado, donde la liberación del compuesto activo se da luego de un periodo de retraso, y sostenido, en que el compuesto activo se libera de forma constante durante un tiempo determinado (Lakkis, 2016); a su vez, la rapidez de liberación depende del mecanismo en particular, distinguiéndose entre difusión, donde el compuesto activo puede moverse dentro o salir de la matriz y la rapidez depende del tamaño, forma, estructura y composición de la partícula; fragmentación, en que el compuesto

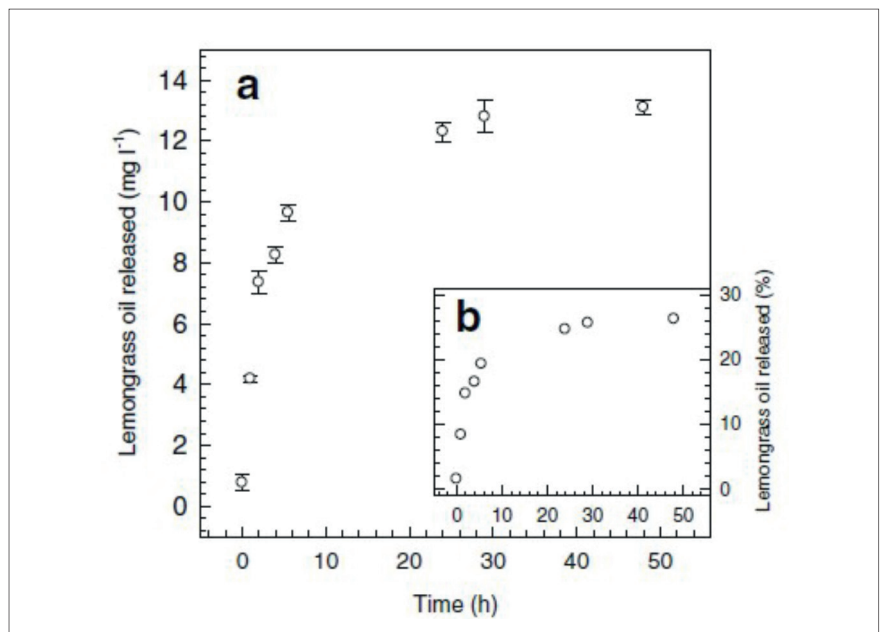


Figura N° 4. Cinética de liberación de aceite esencial de lemongrass (mg/L) desde microcápsulas de caseinato en etanol:agua a 50:50, expresado como a) concentración, y como b) porcentaje (Bustos *et al.*, 2015).



activo es liberado luego de que la matriz es fracturada, donde la rapidez dependerá del estrés mecánico, tamaño y forma de los fragmentos; hinchamiento, en que el compuesto activo se libera luego de que la matriz absorbe solvente y se dilata, donde la rapidez depende de la tasa de hinchamiento y de la difusión del compuesto activo a través de la matriz; y erosión, donde la liberación del compuesto activo ocurre por degradación de la capa externa de la matriz, en la cual la rapidez depende de la composición y estructura de las capas y de la magnitud y duración del factor de erosión (físico, químico o enzimático) (Garti y McClements, 2012).

A modo de caracterizar matemáticamente la cinética de liberación, considerando la complejidad de los sistemas alimentarios, existen diversos modelos que describen el comportamiento de la concentración de compuesto activo en el tiempo, es decir, $C = f(t)$, describiéndose modelos como orden cero, primer orden, Peppas, Higuchi, Weibull, entre otros (Jafari, 2017).

Conclusiones

El aceite esencial de lemongrass exhibe un gran potencial como preservante natural de alimentos, siendo una alternativa frente a los aditivos sintéticos. A pesar de que este aceite no puede ser agregado

directamente, la tecnología de encapsulación permite su incorporación y liberación prolongada en el tiempo, ejerciendo un efecto preservante continuo, permitiendo así extender la vida útil de los alimentos.

Para el desarrollo de un ingrediente encapsulado, es muy importante considerar el tipo de alimento, los materiales de núcleo y pared, así como el proceso de encapsulación, a modo de obtener una liberación óptima del compuesto activo, logrando el efecto preservante.

Agradecimientos

Autores agradecen el apoyo del Proyecto FONDECYT 1160463.

Referencias

- Abdelwahed W, Degobert G, Stainmesse S, Fessi H. 2006. Freeze-drying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations. *Advanced Drug Delivery Reviews* 58: 1688-1713.
- Adukwu EC, Bowles M, Edwards-Jones V, Bone H. 2016. Antimicrobial activity, cytotoxicity and chemical analysis of lemongrass essential oil (*Cymbopogon flexuosus*) and pure citral. *Applied Microbiology and Biotechnology* 100: 9619-9627.
- Alarcón-Moyano J, Bustos RO, Herrera ML, Matiacevich SB. 2017. Alginate edible films containing microencapsulated lemongrass oil or citral: Effect of encapsulating agent and storage time on physical and antimicrobial properties. *Journal of Food Science and Technology* 54: 2878-2889.
- Alikhani-Koupaei M, Mazlumzadeh M, Sharifani M, Adibian M. 2014. Enhancing stability of essential oils by microencapsulation for preservation of button mushroom during postharvest. *Food Science & Nutrition* 2: 526-533.
- Anandharamakrishnan C, Padma Ishwarya S. 2015. *Spray drying techniques for food ingredient encapsulation*. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Bakry AM, Abbas S, Ali B, Majeed H, Abouelwafa MY, Mousa A, Liang L. 2016. Microencapsulation of oils: A Comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15: 143-182.
- Barbosa LN, Mores Rall VL, Henrique Fernandes AA, Ikeda Ushimaru P, da Silva Probst I, Fernandes A. 2009. Essential oils against foodborne pathogens and spoilage bacteria in minced meat. *Foodborne Pathogens and Disease* 6: 725-728.
- Beyki M, Zhavah S, Tahere Khalili S, Rahmani-Cherati T, Abollahi A, Bayat M, Tabatabaei M, Mohsenifar A. 2014. Encapsulation of *Mentha piperita* essential oils in chitosan-cinnamic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against *Aspergillus flavus*. *Industrial Crops and Products* 54: 310-319.
- Bonat Celli G, Ghanem A, Su-Ling Brooks M. 2015. Bioactive encapsulated powders for functional foods—a Review of methods and current limitations. *Food and Bioprocess Technology* 8: 1825-1837.
- Burt S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology* 94: 223-253.



- Bustos R, Alberti F, Matiacevich S. 2015. Edible antimicrobial films based on microencapsulated lemongrass oil. *Journal of Food Science and Technology* 53: 832-839.
- Chouhan S, Sharma K, Guleria S. 2017. Antimicrobial activity of some essential oils: Present status and future perspectives. *Medicines* 4: 1-21.
- Ekpenyong CE, Akpan EE. 2017. Use of *Cymbopogon citratus* essential oil in food preservation: Recent advances and future perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57: 2541-2559.
- El Asbahani A, Miladi K, Badri W, Sala M, Ait Addi EH, Casabianca H, El Mousadik A, Hartmann D, Jilale A, Renaud FNR, Elaissari A. 2015. Essential oils: from extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics* 483: 220-243.
- Ezhilarasi PN, Karthik P, Chhanwal N, Anandharamakrishnan C. 2013. Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: A Review. *Food and Bioprocess Technology* 6: 628-647.
- Faleiro ML. 2011. The mode of antibacterial action of essential oils. En A Mendez-Vilas (Ed.), *Science against microbial pathogens: Communicating current research and technological advances*. Formatex Research Center, Badajoz, Spain.
- Fang Z, Bhandari B. 2010. Encapsulation of polyphenols – a review. *Trends in Food Science & Technology* 21: 510-523.
- Garti N, McClements DJ. 2012. *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International* 40: 1107-1121.
- Gupta AK, Muhury R, Ganjewala D. 2016. A study on antimicrobial activities of essential oils of different cultivars of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*). *Pharmaceutical Sciences* 22: 164-169.
- Hădărugă DI, Hădărugă NG, Costescu CI, David I, Gruia AT. 2014. Thermal and oxidative stability of the *Ocimum basilicum* L. essential oil/ β -cyclodextrin supramolecular system. *Beilstein Journal of Organic Chemistry* 10: 2809-2820.
- Hammer KA, Carson CF, Riley TV. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology* 86: 985-990.
- Jafari SM, Assadpoor E, He Y, Bhandari B. 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology: An International Journal* 26: 816-835.
- Jafari SM. 2017. *Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries*. Academic Press, London, UK.
- Kpoviessi S, Bero J, Agbani P, Gbaguidi F, Kpadonou-Kpoviessi B, Sinsin B, Accrombessi S, Frédéric M, Moudachirou M, Quetin-Leclercq J. 2014. Chemical composition, cytotoxicity and in vitro antitrypanosomal and antiplasmodial activity of the essential oils of four *Cymbopogon* species from Benin. *Journal of Ethnopharmacology* 151: 652-659.
- Kotzekidou P, Giannakidis P, Boulamatsis A. 2008. Antimicrobial activity of some plant extracts and essential oils against foodborne pathogens in vitro and on the fate of inoculated pathogens in chocolate. *LWT – Food Science and Technology* 41: 119-127.
- Kwak H-S. 2014. *Nano- and Microencapsulation for Foods*. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Lakkis JM. 2016. *Encapsulation and controlled release technologies in food systems*. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Madene A, Jacquot M, Scher J, Desobry S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science and Technology* 41: 1-21.
- Majeed H, Bian Y-Y, Ali B, Jamil A, Majeed U, Khan QF, Iqbal KJ, Shoemaker CF, Fang Z. 2015. Essential oil encapsulations: uses, procedures, and trends. *RSC Advances* 5: 58449-58463.
- McClements DJ. 2016. *Food emulsions: Principles, practices and techniques*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Min S, Krochta JM. 2005. Antimicrobial films and coatings for fresh fruit and vegetables. En W. Jongens (Ed.), *Improving the safety of fresh fruit and vegetables*. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.



- Moore-Neibel K, Gerber C, Patel J, Friedman M, Ravishankar S. 2012. Antimicrobial activity of lemongrass oil against *Salmonella enterica* on organic leafy greens. *Journal of Applied Microbiology* 112: 485-492.
- Naik MI, Fomda BA, Jaykumar E, Bhat JA. 2010. Antibacterial activity of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) oil against some selected pathogenic bacterias. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 3: 535-538.
- Navarro R, Arancibia C, Herrera ML., Matiacevich S. 2016. Effect of type of encapsulating agent on physical properties of edible films based on alginate and thyme oil. *Food and Bioprocess Processing* 97: 63-75.
- Oetjen G-W, Haseley P. 2004. Freeze drying. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Pérez-Alonso C, Báez-González JG, Beristain CI, Vernon-Carter EJ, Vizcarra-Mendoza MG. 2003. Estimation of the activation energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for their use as wall material for spray-dried microcapsules. *Carbohydrate Polymers* 53: 197-203.
- Phunpee S, Rangsadthong Ruktanonchai U, Yoshii H, Assabumrungrat S, Soottitantawat A. Encapsulation of lemongrass oil with cyclodextrins by spray drying and its controlled release characteristics. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 81: 718-723.
- Prakash B, Kedia A, Kumar Mishra P, Dubey NK. 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.
- Raybaudi-Massilia RM, Mosqueda-Melgar J, Martín-Belloso O. 2006. Antimicrobial activity of essential oils on *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli*, and *Listeria innocua* in fruit juices. *Journal of Food Protection* 69: 1579-1586.
- Raybaudi-Massilia RM, Rojas-Graü MA, Mosqueda-Melgar J, Martín-Belloso O. 2008. Comparative study on essential oils incorporated into an alginate-based edible coating to assure the safety and quality of fresh-cut Fuji apples. *Journal of Food Protection* 71: 1150-1161.
- Riquelme N, Herrera ML, Matiacevich S. 2017. Active films based on alginate containing lemongrass essential oil encapsulated: Effect of process and storage conditions. *Food and Bioprocess Processing* 104: 94-103.
- Rivera Calo J, Crandall PG, O'Bryan CA, Ricke SC. 2015. Essential oils as antimicrobials in food systems - A review. *Food Control* 54: 111-119.
- Rungsardthong Ruktanonchai U, Srinuanchai W, Saesoo S, Sramala I, Puttipipatkachorn S, Soottitantawat A. 2011. Encapsulation of citral isomers in extracted lemongrass oil with cyclodextrins: Molecular modeling and physicochemical characterizations. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 75: 2340-2345.
- Sacchetti G, Maietti S, Muzzoli M, Scaglianti M, Manfredini S, Radice M, Bruni R. 2005. Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. *Food Chemistry* 91: 621-632.
- Salvia-Trujillo L, Rojas-Graü A, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. 2013. Physicochemical characterization of lemongrass essential oil-alginate nanoemulsions: Effect of ultrasound processing parameters. *Food and Bioprocess Technology* 6: 2439-2446.
- Shahidi F, Han X-Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 33: 501-547.
- Sosa N, Zamora MC, Chirife J, Schebor C. 2011. Spray-drying encapsulation of citral in sucrose or trehalose matrices: physicochemical and sensory characteristics. *International Journal of Food Science and Technology* 46: 2096-2102.
- Turek C, Stintzing FC. 2013. Stability of essential oils: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12: 40-53.
- Vishwakarma GS, Gautam N, Babu GJ, Mittal S, Jaitak V. 2016. Polymeric encapsulates of essential oils and their constituents: A review of preparation techniques, characterization, and sustainable release mechanisms. *Polymer Reviews* 56: 668-701.