

Secado por aspersión: una alternativa para la conservación de los compuestos bioactivos y aromáticos del extracto de ajo (*Allium sativum L.*)*

Martiza Andrea Gil Garzón**, Luz María Alzate Tamayo***, Andrea del Pilar Sánchez-Camargo****, Leónidas de Jesús Millán Cardona*****

Resumen

Introducción. La microencapsulación por *spray-dryer* es una de las técnicas más importantes en la última década para la conservación de los principios activos de compuestos naturales que son empleados como aditivos alimentarios. La oleoresina de ajo ha sido uno de los aditivos más empleados en la industria cárnica, pero requiere de métodos de conservación para garantizar la estabilidad de sus compuestos bioactivos y aromáticos, y es la microencapsulación por *spray-dryer* una de las mejores opciones. **Objetivo.** Evaluar la mejor mezcla de encapsulantes que prolonguen la conservación de los compuestos bioactivos y aromáticos de la oleoresina de ajo incorporada en un producto embutido y que sea de mayor aceptación sensorial. **Metodología.** Los encapsulantes empleados fueron: almidón modificado, goma acacia y una mezcla comercial de gomas en una relación 3:1 (encapsulante: oleoresina) a 180°C, 600L/h y 30 mL/min; se empleó un diseño de mezclas para encontrar la mejor relación de encapsulantes; las variables respuesta fueron el menor porcentaje de pérdida de los compuestos bioactivos determinados por GC-MS y la mejor respuesta de los descriptores en el análisis sensorial. El tamaño de las microcápsulas se realizó por SEM. **Resultados.** La mezcla óptima de encapsulantes de acuerdo con la superficie de respuesta (cuadrática) estuvo entre 0% y 10.38% para la mezcla de gomas, Tecnazul y los valores comprendidos entre 79,62% y 90% para el almidón modificado, para los días 20 y 0, respectivamente, y en ausencia de goma acacia, por presentar la mayor conservación del disulfuro de dialilo, di-2-propenil trisulfuro, di-2-propenil tetrasul-

furo y los descriptores (sabor a ajo, olor aroma característico, sabor cárnico, sabor objetable y color) en el producto embutido, similares al estándar de referencia más empleado comercialmente. Las microcápsulas presentaron tamaños entre 10µ y 35µ. **Conclusión.** Una mezcla entre el almidón modificado y la mezcla de gomas presentó mejores características en el producto final, lo que permite ampliar el uso a otros encapsulantes para el extracto de ajo diferente a la goma acacia que es considerada de alto valor comercial y difícil consecución.

Palabras clave: *Allium sativum L.*, extracto de ajo, *spray-dryer*, microencapsulación, SEM, GC-MS, disulfuro de dialilo, di-2-propenil trisulfuro, di-2-propenil tetrasulfuro.

Spray drying: An alternative to conserve bioactive and aromatic compounds from garlic extract (*Allium sativum L.*)

Abstract

Introduction. Spray-dryer microencapsulation is one of the most important techniques in the most recent decade to preserve the active principles of natural compounds that are used as food additives. Garlic oleoresin has been one of the most used additives in meat industries, but it requires a conservation method to preserve the stability of its bioactive and aromatic compounds, and Spray-dryer microencapsulation is one of the best options for such preservation. **Objective.** To evaluate the best encapsulants

* Artículo derivado del proyecto de investigación "Microencapsulación por spray drying de oleoresina del ajo (*Allium sativum L.*) aplicada a un producto cárnico embutido" ejecutado en convocatoria interna en el año 2009 en la Corporación Universitaria Lasallista.

** Ingeniera de Alimentos, M. Sc. Ciencia-Química. Docente coordinadora programa de Ingeniería de Alimentos. Corporación Universitaria Lasallista.

*** Ingeniera de Alimentos, especialista en Aseguramiento de Calidad Microbiológica de los Alimentos. Docente programa de Ingeniería de Alimentos. Corporación Universitaria Lasallista.

**** Ingeniera Química, M. Sc. en Ingeniería de Alimentos. Investigadora TECNAS S. A.

***** Ingeniero Industrial, especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Docente Corporación Universitaria Lasallista

Correspondencia: Luz María Alzate Tamayo. e-mail: luzalzate@gmail.com

Artículo recibido: 30/03/2011; Artículo aprobado: 12/12/2011

mixture to elongate the conservation of the bioactive and aromatic compounds of garlic oleoresin incorporated in a sausage product, but they must also have a better sensory acceptance. **Methodology.** The encapsulants used were: Modified starch, acacia gum resin and a commercial mixture of gums in a 3:1 relation (oleoresin as an encapsulant) at 180°C, 600L/h and 30 mL/min. A mixture design was used to find the best relation of encapsulants and the response variables were the lowest percentage of bioactive compounds loss, determined by GC-MS, and the best response of the descriptors in the sensory analysis. The size of the microcapsules was made through SEM. **Results.** The optimal mixture of encapsulants, according to the response surface (quadratic), was that between 0% and 10.38% for the mixture of gums, Tecnazul and the values within 79,62% and 90% for the modified starch, for the 20 and 0 days, respectively, and in absence of acacia gum resin because it has the best conservation of diallyl disulfide, di-2-propenyl trisulfide, di-2-propenyl tetrasulfide and the descriptors (garlic flavor, characteristic aroma, meat flavor, objectionable flavor and color) in the sausage are similar to the most used reference standard in the market. The microcapsules had sizes between 10 μ y 35 μ . **Conclusion.** A mixture of modified starch and the mixture of gums had better characteristics in the final product, allowing widening the use of other encapsulants for the garlic extract, different from the acacia gum resin, which is expensive and difficult to get.

Key words: *Allium sativum L.*, garlic extract, spray-dryer, microencapsulation, SEM, GC-MS, diallyl disulfide, di-2-propenyl trisulfide, di-2-propenyl tetrasulfide.

Secado por aspersão: uma alternativa para a conservação dos compostos bioativos e aromáticos do extrato de alho (*Allium sativum L.*)

Resumo

Introdução. A micro-encapsulação por spray-dryer uma das técnicas mais importantes na última dé-

cada para a conservação dos princípios ativos de compostos naturais que são empregados como aditivos alimentares. A oleorresina de alho foi um dos aditivos mais empregados na indústria cárnica, mas requer de métodos de conservação para garantir a estabilidade de seus compostos bio-ativos e aromáticos, sendo a microencapsulação por spray-dryer uma das melhores opções. **Objetivo.** Avaliar a melhor mistura de encapsulantes que prolonguem a conservação dos compostos bio-ativos e aromáticos da oleorresina de alho incorporada num produto embutido e que tenha a maior aceitação sensorial. **Metodologia.** Os encapsulantes empregados foram: goma modificada, goma-arábica e uma mistura comercial de gomas numa relação 3:1 (encapsulante:oleorresina) a 180°C, 600L/h e 30 ML/min, empregou-se um desenho de misturas para encontrar a melhor relação de encapsulantes, as variáveis resposta foram a menor porcentagem de perda dos compostos bio-ativos determinados por GC-MS e a melhor resposta dos descritores na análise sensorial. O tamanho das micro-cápsulas se realizou por SEM. **Resultados.** A mistura ótima de encapsulantes de acordo à superfície de resposta (quadrática) esteve entre 0% e 10.38% para a mistura de, gomas, Tecnazul e os valores compreendidos entre 79,62% e 90% para a goma modificada, para os dias 20 e 0, repetidamente e em ausência de goma-arábica, por apresentar a maior conservação do disulfuro de dialilo, dei-2-propenil trisulfuro, dei-2-propenil tetrasulfuro e os descritores (sabor a alho, cheiro aroma característico, sabor cárnico, sabor objetivo e cor) no produto embutido, similares ao padrão de referência mais empregado comercialmente. As micro-cápsulas apresentaram tamanhos entre 10 μ e 35 μ . **Conclusão.** Uma mistura entre a goma modificada e a mistura de gomas apresentou melhores características no produto final, o que permite ampliar o uso a outros encapsulantes para o extrato de alho diferente à goma-arábica que é considerada de alto valor comercial e difícil consecução.

Palavras importantes: *Allium sativum L.*, extrato de alho, spray-dryer, microencapsulación, SEM, GC-MS, disulfuro de dialilo, dei-2-propenil trisulfuro, dei-2-propenil tetrasulfuro.

Introducción

En la industria alimentaria las especias son uno de los aditivos más empleados en la elaboración de gran variedad de alimentos. Sin embargo, esta industria enfrenta una creciente exigencia por parte del consumidor sobre el uso de aditivos naturales, lo que conduce a

la búsqueda de nuevas fuentes de productos vegetales como una alternativa con menor impacto sobre el ambiente y especialmente sobre la salud, y son los aceites esenciales, extractos vegetales de hierbas y especias como el orégano, el tomillo, la pimienta, el cilantro y el ajo, entre otros, una opción de importante alcance¹.

Entre las especias más estudiadas, el ajo (*Allium sativum* L.) es una de las más representativas ya que, además de ser un buen sazonzador de mayonesa, salsa de tomate, y productos cárnicos embutidos², es conocido por poseer una variedad de funciones biológicas como anticancerígena^{3,4}, antioxidante^{5,6}, antimicrobiana^{7,8}, antihipertensiva⁹, insecticida^{10,11}, repelente¹², antifúngica^{13,14}, molusquicida¹⁵, antitrombótica, y mejorador del sistema inmune debido principalmente a la acción de los compuestos organosulfurados como los tiosulfanatos [RO(O)OR]^{16,17}. Sin embargo, su uso como condimento es limitado ya que la mayoría de los compuestos azufrados son volátiles, lo que lleva a la incorporación en alimentos procesados principalmente mediante el uso de su aceite esencial, su extracto o su oleorresina.

Entre los compuestos que han sido identificados como responsables del sabor y de las propiedades bioactivas están el disulfuro y trisulfuro de dialil, 2-di-propenil trisulfuro y tetrasulfuro, trimetil tiourea, 3-vinil-[4H]-1,2-ditiina, entre otros¹⁸. Los compuestos azufrados mencionados presentes en el ajo y su oleorresina son tan susceptibles a la degradación oxidativa como los de la oleorresina de cardamomo¹⁹, paprika²⁰ y otros extractos de especias saborizantes²¹ debido a la sensibilidad de su estructura química a la luz, el calor y el oxıgeno²².

Por lo anterior, la microencapsulación por medio de *Spray-Drying* es una alternativa viable, ya que el uso de materiales encapsulantes y cortos tiempos de secado permiten en el producto final proteger los constituyentes susceptibles al efecto adverso del medio al que está expuesto el producto o alguno de los ingredientes del alimento procesado²³. De esta manera se preservan sus propiedades bioactivas, se evita su oxidación hasta el momento de su liberación al medioambiente en contacto con el alimento y se prolongan las propiedades organolépticas deseables en las matrices donde es incorporado^{24,25}.

El presente trabajo tuvo como objetivo establecer la proporción adecuada de encapsulantes que prolonguen la conservación de los compuestos bioactivos y aromáticos de la oleorresina de ajo incorporada en un producto embu-

tido y que proporcionen la mayor aceptación sensorial.

Materiales y métodos

Se empleó extracto de ajo, *Allium sativum* L (KALSEC, MI, USA) y como material encapsulante almidón modificado (Snow Flake  064021, CAS No: 9005-25-8, Corn Products International, Colombia), goma acacia y una mezcla comercial de gomas conocida como TECNAZUL (mezcla en peso de 80% TICAMULSION o goma acacia modificada y 20% de goma guar), todos proveídos por la empresa TECNAS S. A. Medellín, Colombia. Para los análisis químicos se emplearon reactivos de grado analítico de diferentes casas comerciales: Sigma, Aldrich y Merck.

Preparación de las microcápsulas

Una solución con el 30% de los diferentes materiales encapsulantes y sus respectivas mezclas, como se muestra en la tabla 1, fue disueltas en agua destilada hasta un volumen de 100 mL e hidratados durante 12 h entre 10 y 12C. Alrededor de 10 g de extracto de ajo fue adicionado a la mezcla de encapsulantes en una relación 1:3 (extracto de ajo: material encapsulante), posteriormente fue homogeneizada con un Ultraturrax IKA, a 6000 rpm y durante 3 min. Dos gotas (0,2 mL) de Tween 80 fueron adicionados para facilitar la emulsificación. La mezcla fue microencapsulada en un Mini Spray Dryer Buchi modelo 290 (BÜCHI Labortechnik, Germany). La velocidad de alimentación de la mezcla fue a 9 mL/min y la temperatura de entrada y salida se mantuvo entre 180C \pm 1C y 86C \pm 5C, respectivamente. Las microcápsulas obtenidas fueron colectadas en un empaque de polietileno autosellable y almacenadas en un cuarto con humedad y temperatura controlada a 45% y 20C.

Prueba de estabilidad

El seguimiento de la estabilidad se realizó por cromatografía gaseosa acoplada a masas, GC-MS y por análisis sensorial en el tiempo cero (0) y a los 20 días, como se describe a continuación:

Análisis de los compuestos bioactivos por cromatografía gaseosa acoplada a masas, GC-MS

La presencia de algunos de los compuestos sulfurados responsables del aroma del ajo fueron analizados mediante cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masas, GC-MS, con el fin de determinar su disminución dependiendo de los encapsulantes y proporciones utilizadas.

El análisis de los compuestos tiosulfurados se aplicó sobre una muestra disuelta en agua desionizada. Se realizó en un equipo GC-MS marca Agilent modelo 6890N con detector selectivo de masas 5973 Network, con inyector en modo splitless, gas portador helio, con temperaturas inicial y final del horno de la columna de 40°C y 340°C, respectivamente, y columna ZB-35, detector espectrómetro de masas cuádruplo, modo de ionización por impacto electrónico (70ev) y tiempo de análisis de 60 minutos (tabla 1).

Análisis sensorial

Las microcápsulas de ajo fueron incorporadas en matriz cárnica, en este caso en una salchi-

cha, para evaluar propiedades organolépticas por medio de un análisis sensorial realizado por un panel experto del Instituto de Ciencia y Tecnología Alimentaria (INTAL) conformado por seis jueces entrenados.

La evaluación del ajo microencapsulado e incorporado en una salchicha fue hecha mediante el seguimiento de cinco descriptores: color, olor (aroma característico), sabor cárnico característico, sabor ajo y sabor objetable, donde 0 es ausente, 1 y 2 es leve, 3 (media-baja), 4 (media), 5 (media-alta), 6 y 7 (intenso). Con el fin de tener un patrón de referencia se incluyó en el análisis sensorial un embutido elaborado con un estándar de ajo en polvo y los resultados obtenidos para cada característica fueron tomados como punto óptimo de comparación.

La evaluación se llevó a cabo en un laboratorio de evaluación sensorial, ajustado a la norma NTC -5328 de 2004 – 12 – 16²⁶.

Tabla 1. Diseño de mezclas de acuerdo con la proporción de los componentes

| Muestra | Orden de análisis | Mezcla de gomas, Tecnazul (%) | Almidón Modificado, AM (%) | Goma Acacia, GA (%) |
|-------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------|
| E8 (1/6,2/3,1/6) | 8 | 16,7 | 66,7 | 16,7 |
| E3 (1,0,0) | 3 | 100,0 | 0,0 | 0,0 |
| E1 (0,1/2,1/2) | 1 | 0,0 | 50,0 | 50,0 |
| E7 (2/3,1/6,1/6) | 7 | 66,7 | 16,7 | 16,7 |
| E6 (1/2,0,1/2) | 6 | 50,0 | 0,0 | 50,0 |
| E5 (1/2,1/2,0) | 5 | 50,0 | 50,0 | 0,0 |
| E4 (0,1,0) | 4 | 0,0 | 100,0 | 0,0 |
| E10 (1/6,1/6,2/3) | 10 | 16,7 | 16,7 | 66,7 |
| E12 (0,1,0) | 12 | 0,0 | 100 | 0,0 |
| E11 (1,0,0) | 11 | 100,0 | 0,0 | 0,0 |
| E2 (0,0,1) | 2 | 0,0 | 0,0 | 100,0 |
| E9 (1/3,1/3,1/3) | 9 | 33,3 | 33,3 | 33,3 |

Análisis de las microcápsulas por microscopía de barrido electrónico (SEM)

La estructura externa de las microcápsulas obtenidas fue analizada mediante microscopía de

barrido electrónico (SEM). Las muestras fueron previamente recubiertas con oro usando un equipo de vacío Varian Vacuum Evaporator PS 10E (USA), y posteriormente analizadas en un

microscopio de barrido electrónico JEOL JSM-5950 LV (USA) operado at 15 kv de corriente eléctrica y a 25 Pa de vacío. Las imágenes fueron obtenidas con una cámara Kodak 120 T-Max ISO 100 film acoplada al microscopio.

Análisis estadístico

Las variables experimentales estudiadas fueron almidón modificado, mezcla de gomas (Tecnazul) y goma acacia; se definieron 10 tratamientos usando un diseño de mezclas empleando el paquete Statgraphics versión 16. En la tabla 2 se observan las concentraciones correspondientes.

La cantidad de los dos componentes se fijó en 1 ($X_1 + X_2 + X_3 = 1$ o 100%, $\Sigma x = 1$). Se elaboró un diseño de mezclas el cual tomó efectos individuales y por pares, con tres componentes (X_1, X_2, X_3), donde se determinó la mezcla óptima de estos de acuerdo con las variables respuesta consideradas y se diseñaron mezclas con arreglo cuadrático expresado mediante la siguiente ecuación^{27, 28}:

$$Z = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 \cdot X_2 + \beta_5 X_1 \cdot X_3 + \beta_6 X_2 \cdot X_3 + \varepsilon \quad (1)$$

Las variables respuesta tomadas en cuenta en el diseño de mezclas fueron: el porcentaje de los compuestos responsables del olor característico presentes en la oleoresina de ajo e identificados por GC-MS y los descriptores evaluados por medio del análisis sensorial. La optimización de las variables se realizó maximizando la función de "deseabilidad", con el fin de encontrar la combinación de los encapsulantes que evitaron que la oleoresina encapsulada se alejara de los límites deseados descritos en la tabla 3 para cada uno de los atributos. A cada uno de los componentes de la mezcla y los parámetros evaluados se les dio un nivel desde 1 (sin importancia) hasta 5 (muy importante).

*Valores óptimos de referencia para: los componentes presentes en la mezcla (0 a 100%), descriptores (valores encontrados en el embudo elaborado con el estándar de ajo en polvo) y máximo porcentaje de área correspondiente a los compuestos sulfurados de interés presentes en la oleoresina de ajo sin encapsular identificados por GC-MS.

Tabla 2. Variables e intervalos seleccionados para el diseño de mezclas

| Variables | Nivel | |
|-------------------------------|-----------|--------------|
| | Mínimo | Máximo |
| X1: Mezcla de gomas, Tecnazul | 0 % (0 g) | 100 % (90 g) |
| X2: Almidón Modificado, AM | 0 % (0 g) | 100 % (90 g) |
| X3: Goma Acacia, GA | 0 % (0 g) | 100 % (90 g) |

Tabla 3. Valor óptimo de referencia y nivel de importancia de las variables evaluadas

| Variable | Valor óptimo* | Límite inferior | Límite superior | Importancia |
|----------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Mezcla de gomas, Tecnazul | En el rango | 0 % | 100 % (90g) | 5 |
| Almidón modificado, AM | En el rango | 0 % | 100 % (90g) | 5 |
| Goma Acacia, GA | En el rango | 0 % | 100 % (90g) | 3 |
| Color | Mantener en 5.33 | 4,4 | 5,916 | 3 |
| Olor aroma característico | Mantener en 4.67 | 3,8 | 5,2 | 5 |
| Sabor cárnico | Mantener en 4.67 | 3,5 | 4,83 | 5 |
| Sabor ajo | Mantener en 1.5 | 1,08 | 2,26 | 5 |
| Sabor objetable | Mantener en 0 | 0 | 1,5 | 4 |
| Disulfuro de dialilo | Minimizar | 0 | 95,60 % | 3 |
| Di-2-propenil trisulfuro | Minimizar | 0 | 100 % | 3 |
| Di-2-propenil tetrasulfuro | Minimizar | 0 | 58,66 % | 3 |

Resultados y análisis

Compuestos bioactivos de la oleorresina de ajo

El análisis cromatográfico de los compuestos solubles en agua analizados en la oleorresina

de ajo arrojó un cromatograma de gases en el cual se aprecia la presencia de tres compuestos con picos bien definidos a tres tiempos de retención ($tr_1=21.712$ min) y octavo ($tr_2=37.813$ min) y ($tr_3=53.452$ min), como se observa en la figura 1.

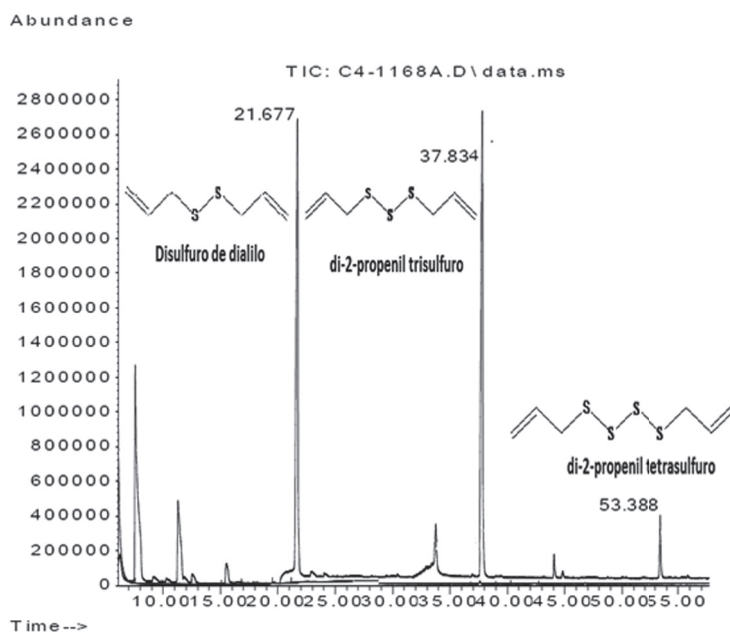


Figura 1. Compuestos del grupo de sulfuros resultantes de la degradación de la aliina presentes en la oleorresina de ajo identificados por GC-MS obtenida del cromatógrafo de gases 6890N con detector selectivo de masas 5973 Network.

Los compuestos del grupo de sulfuros resultantes de la degradación de la aliina identificados de esta manera con sus respectivos porcentajes de coincidencia son los siguientes: disulfuro de dialilo (85%), di-2-propenil trisulfuro (86%)²⁹ y di-2-propenil tetrasulfuro (89%), cada uno de ellos representados en la figura 1³⁰. Los tiempos de retención del estándar fueron tomados como referencia para el análisis de las muestras microencapsuladas en el tiempo cero y a los 20 días después.

Los espectros de masas de cada sustancia fueron comparados automáticamente con la biblioteca de espectros de la base de datos del equipo y justificados los principales fragmentos de los tres compuestos de referencia. (1) **Disulfuro de dialilo**: 146 [M]⁺ al que corresponde el fragmento principal m/z de 41 (C₃H₅) de mayor

abundancia. (2) **di-2-propenil trisulfuro**: 178 [M]⁺, el pico más sobresaliente es el de m/z de 73 (C₃H₅S), 113 (C₆H₉S) y 41 (C₃H₅). (3) **di-2-propenil tetrasulfuro**: 210 [M]⁺ coincide con dos fragmentos de los compuestos anteriores, el más abundante 41 y 73 y además presenta un m/z de 146 (S₂).

Los sulfuros identificados son algunos de los compuestos mayoritarios comunes en los extractos obtenidos por soxhlet y maceración con éter de petróleo y alcohol etílico, tanto en la variedad *A. sativum* como *A. fistulosum*, debido a la exposición a temperaturas superiores a 100°C a las que debe ser sometido el ajo durante la obtención de la oleorresina³¹ y posterior a la microencapsulación. El compuesto dialil obtenido en mayor porcentaje coincide con los resultados publicados por Hincapié, 2007 en un

extracto de ajo obtenido por CO₂ supercrítico (10.88% del área de los picos)³².

Análisis de la estabilidad

En las tablas 4 y 5 se observa los resultados de GC-MS y análisis sensorial en el tiempo cero y a los 20 días empleados en el diseño de mezclas.

Mediante el análisis multivariado se pudo observar en el día cero (0), que de los tres componentes de la mezcla, el almidón modificado se relaciona directamente con el descriptor “olor aroma característico” y no presentó “sabor objetable” en ninguna de las muestras obtenidas con 100% almidón (muestras E4 y E12). Por otro lado, la goma acacia y la mezcla de gomas no presenta ninguna relación con los demás parámetros evaluados (figura 2a).

El descriptor “sabor a ajo” para el día cero (0) presentó una calificación mayor en el ensayo E8, indicando que en esta proporción de agentes encapsulantes, la oleoresina es liberada más rápidamente que en los otros ensayos, con relación a esta misma característica de sabor encontrada para el ensayo en el día 20. Un comportamiento opuesto se presenta en el ensayo E5, donde la liberación de sabor se da más notoriamente en el día 20, por lo que es posible considerar que la mezcla de 50% de almidón modificado y 50% de mezcla de gomas, Tecnazul, podría ser un apropiado encapsulante que retenga los componentes característicos del sabor de ajo en el tiempo, evitando así el uso de goma acacia.

Con relación a la característica “sabor objetable”, disminuyó en todos los ensayos del día cero (0) al día 20, lo que favorece su aceptabilidad en el consumidor.

Con respecto al resultado del análisis de varianza es posible sugerir, de acuerdo con los resultados, que para el día cero (0) la emulsión contenga 0% de la mezcla de gomas Tecnazul, 90% de almidón modificado y 0% de goma acacia.

Para el día 20, el análisis multivariado pudo constatar que la goma acacia no se relaciona con ninguno de los parámetros evaluados, el almidón modificado presenta relación directa

con el olor, pero en mayor proporción con el sabor objetable, tal como se observa en la figura 2b.

La optimización indicó que la mejor composición para elaborar un producto cárnico similar al patrón de referencia es mediante una mezcla de 10.38% de la mezcla de gomas, Tecnazul y 79.62% de almidón modificado, en ausencia de goma acacia.

De acuerdo con lo anterior, para cada tiempo de evaluación hay una mezcla diferente del producto, pero se pudo observar un patrón en el cual el almidón modificado gana en porcentaje y la goma acacia presenta un valor de cero. Según la tabla 6 se puede hacer una formulación que contenga 0% goma acacia y que la mezcla de encapsulantes se encuentre conformada por la mezcla de gomas, Tecnazul (entre 0% y 10.38%) y el almidón modificado (entre 79.62% y 90%).

Este resultado es una opción importante para las empresas productoras que deben importar goma acacia, la cual tiene un valor elevado con respecto a los almidones modificados y que no se encuentra disponible durante todo el año. Estudios similares muestran que el reemplazo parcial de gomas presentes en mezclas encapsulantes, como la goma aguar que fue empleada para encapsular la oleoresina de cardamomo conservó mejor sus propiedades organolépticas en el tiempo con el reemplazo parcial de maltodextrina y almidón modificado HiCap 100³³.

La optimización de las propiedades con el reemplazo de la goma con una mezcla de almidón modificado y Tecnazul puede obedecer a una capacidad superior con respecto a la goma acacia para emulsificar y retener compuestos volátiles durante el secado por aspersión, como lo demuestran estudios previos³⁴. Sin embargo, es importante destacar que los almidones modificados no pueden ser considerados para el desarrollo de productos denominados 100% naturales; además, pueden producir sabores residuales desagradables en el tiempo o tener un efecto menor en la protección de compuestos oxidables³⁵, lo que coincide con el valor de 1,5 en el descriptor “sabor objetable”, relacionado con sabores rancios, de la muestra E10, que contienen almidón modificado y 0,6 en la muestra E4 que contiene el 100% de almidón modificado.

Tabla 4. Resultados de GC-MS en el tiempo cero (0) y a los 20 días.

| Muestra | Análisis realizado el primer día (tiempo 0) | | | | | Análisis realizado a los 20 días | | | | |
|-------------------|---------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------|-----------------|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------|-----------------|
| | Color | Olor aroma característico | Sabor cárnico característico | Sabor ajo | Sabor objetable | Color | Olor aroma característico | Sabor cárnico característico | Sabor ajo | Sabor objetable |
| E8 (1/6,2/3,1/6) | 5,3 | 4,1 | 4,2 | 2,3 | 0,5 | 5,0 | 3,8 | 3,9 | 1,8 | 0,7 |
| E3 (1,0,0) | 5,0 | 3,8 | 3,8 | 1,6 | 0,5 | 5,0 | 3,7 | 3,5 | 1,7 | 0,3 |
| E1 (0,1/2,1/2) | 5,9 | 4,7 | 4,8 | 1,8 | 0,0 | 4,8 | 4,5 | 3,8 | 1,8 | 0,2 |
| E7 (2/3,1/6,1/6) | 5,6 | 4,2 | 4,3 | 1,7 | 0,7 | 5,2 | 4,2 | 4,2 | 2,0 | 0,3 |
| E6 (1/2,0,1/2) | 5,0 | 4,0 | 3,9 | 1,1 | 1,0 | 4,3 | 4,0 | 3,5 | 1,5 | 0,2 |
| E5 (1/2,1/2,0) | 5,7 | 3,8 | 4,3 | 1,2 | 0,6 | 4,8 | 4,3 | 4,4 | 2,3 | 0,3 |
| E4 (0,1,0) | 5,1 | 5,2 | 4,6 | 1,4 | 0,6 | 4,7 | 4,2 | 3,8 | 1,7 | 0,3 |
| E10 (1/6,1/6,2/3) | 4,8 | 3,8 | 3,5 | 1,5 | 1,5 | 4,5 | 4,2 | 3,7 | 1,7 | 0,3 |
| E12 (0,1,0) | 5,1 | 5,2 | 4,6 | 1,4 | 0,6 | 4,7 | 4,2 | 3,8 | 1,7 | 0,3 |
| E11 (1,0,0) | 4,4 | 4,1 | 3,9 | 1,6 | 0,3 | 4,3 | 4,0 | 3,8 | 2,0 | 0,2 |
| E2 (0,0,1) | 5,0 | 4,5 | 4,4 | 1,8 | 0,4 | 4,3 | 4,3 | 3,5 | 1,5 | 0,5 |
| E9 (1/3,1/3,1/3) | 5,4 | 4,1 | 4,6 | 1,8 | 0,5 | 4,3 | 4,0 | 3,7 | 1,3 | 0,3 |

Tabla 5. Resultados de análisis sensorial en el tiempo cero (0) y a los 20 días

| Muestra | Análisis realizado el primer día (tiempo 0) | | | Análisis realizado a los 20 días | | |
|-------------------|---------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | Disulfuro de dialilo % | di-2-propenil trisulfuro % | di-2-propenil tetrasulfuro % | Disulfuro de dialilo % | di-2-propenil trisulfuro % | di-2-propenil tetrasulfuro % |
| E8 (1/6,2/3,1/6) | 27,4 | 56,8 | 7,4 | 13,7 | 13,8 | 6,0 |
| E3 (1,0,0) | 33,6 | 53,6 | 5,7 | 13,4 | 55,6 | 9,9 |
| E1 (0,1/2,1/2) | 40,6 | 40,9 | 3,5 | 24,0 | 45,5 | 6,7 |
| E7 (2/3,1/6,1/6) | 36,9 | 48,5 | 4,8 | 14,5 | 56,0 | 8,8 |
| E6 (1/2,0,1/2) | 26,7 | 60,3 | 7,3 | 2,5 | 47,1 | 8,9 |
| E5 (1/2,1/2,0) | 30,3 | 56,7 | 6,3 | 14,4 | 54,6 | 10,1 |
| E4 (0,1,0) | 31,8 | 53,6 | 6,4 | 17,4 | 43,5 | 6,9 |
| E10 (1/6,1/6,2/3) | 30,1 | 55,7 | 6,9 | 12,3 | 46,4 | 8,4 |
| E12 (0,1,0) | 31,8 | 53,6 | 6,4 | 17,4 | 43,5 | 6,9 |
| E11 (1,0,0) | 33,6 | 53,6 | 5,7 | 13,4 | 55,6 | 9,9 |
| E2 (0,0,1) | 30,9 | 57,0 | 6,4 | 11,2 | 57,7 | 11,9 |
| E9 (1/3,1/3,1/3) | 33,6 | 53,0 | 5,7 | 11,2 | 56,7 | 9,3 |

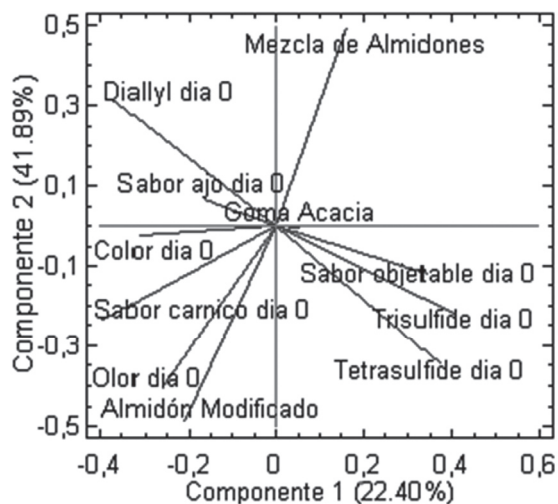


Figura 2a. Análisis multivariado para el día cero

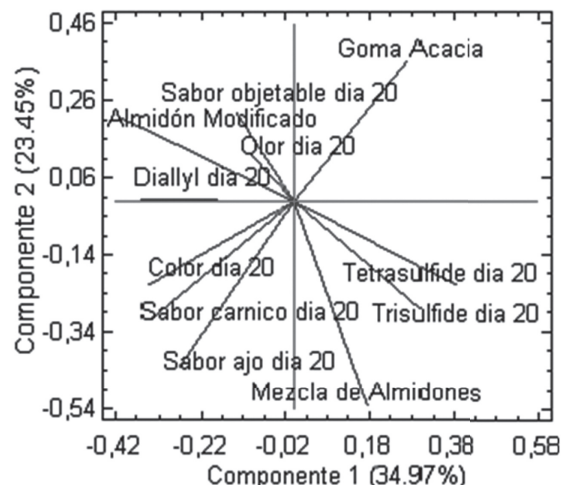


Figura 2b. Análisis multivariado para el día 20.

Tabla 6. Valores óptimos de las variables respuesta en los días 0 y 20

| ANÁLISIS SENSORIAL | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|---------|----------------------------|---------------|-----------|-----------------|
| Tiempo | Mezcla de gomas, Tecnazul | Almidón Modificado | Goma Acacia | Olor | Color | Sabor cárnico | Sabor ajo | Sabor objetable |
| Día 0 | 0.00 | 90 | 0.00 | 5,41876 | 4,89072 | 4,65044 | 1,60956 | 0,492531 |
| Día 20 | 10,38 | 79,62 | 0.00 | 4,81099 | 4,15182 | 4,05333 | 1,81059 | 0,369609 |
| ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO | | | | | | | | |
| Tiempo | Disulfuro de dialilo | | Di-2-propenil trisulfuro | | Di-2-propenil tetrasulfuro | | | |
| Día 0 | 32,2019 | | 52,2194 | | 6,16623 | | | |
| Día 20 | 15,8979 | | 39,6155 | | 7,75091 | | | |

Morfología de las microcápsulas por microscopia de barrido electrónico (SEM)

En la figura 3 se presentan las fotografías por SEM de las microcápsulas para las diferentes mezclas de encapsulantes empleados.

Las microcápsulas obtenidas de las diferentes mezclas presentaron una forma esférica y lisa y un tamaño mínimo de 10,31µm. Las microcápsulas con 16,7% de mezcla de gomas, Tecnazul, 66,7% de almidón modificado y 16,7% de goma acacia, se muestran con formas irregulares y dentadas debido a la rápida evaporación

de agua y contracción consecuente de las partículas durante el proceso de secado o debido al vacío aplicado durante el análisis de SEM^{36, 37}. Una morfología similar fue observada en las microcápsulas de oleoresina de páprika con maltodextrina y almidón modificado³⁸ y betacaroteno³⁹. Los sólidos fueron obtenidos como un fino polvo con un tamaño de partícula entre 10-30 µm. La presencia de esferas redondeadas y lisas, como se muestra en la figura 3, es deseable para la estabilidad de los ingredientes, y para controlar su liberación y facilitar su solubilidad, propiedades que mejoran la efectividad de los aditivos alimentarios al ser incorporadas en diferentes matrices complejas^{40, 41}.

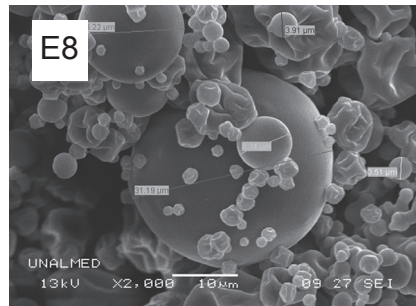
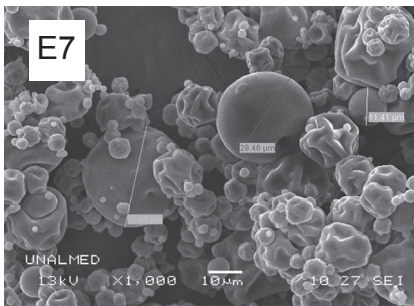
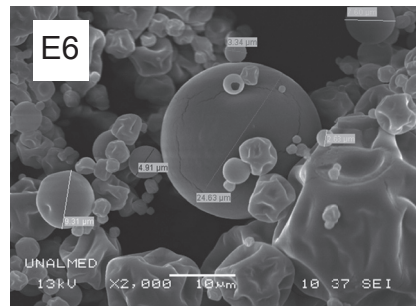
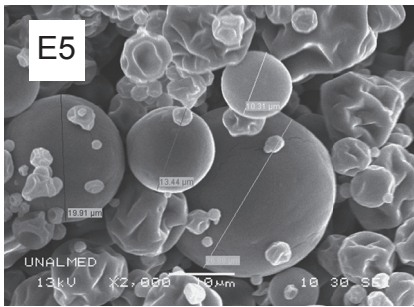
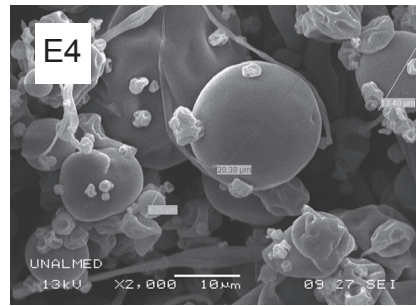
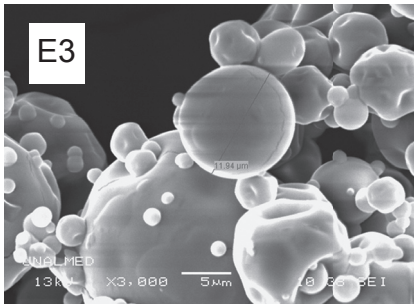
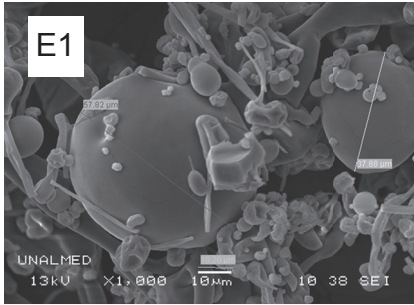


Figura 3. Fotografías SEM de las microcápsulas de las muestras E1, E2, E3, E5, E6, E7 y E8.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indicaron que el almidón modificado en una proporción entre (79.62% y 100%) y una mezcla de gomas Tecnazul (entre 0% y 10.38%) es el mejor material encapsulante para el extracto de ajo en comparación con la goma acacia, la cual es recomendada para este tipo de matriz, pero tiene un alto valor comercial y es de difícil consecución durante el transcurso de todo año.

El compuesto más inestable en el tiempo fue el disulfuro de dialilo, con respecto a los demás compuestos, con pérdidas en promedio del 58%.

La microscopía electrónica de barrido mostró la formación de las microcápsulas en tamaños entre 10 y 30 μm de forma redondeada y lisa ideal para la incorporación en diferentes matrices alimentarias.

El descriptor olor/aroma característico fue calificado con mayor intensidad en la muestra control de la mezcla obtenida con el 100% de almidón modificado en el tiempo 0.

El análisis sensorial en el tiempo 20 presentó valores del descriptor "sabor objetable" en la mayoría de las muestras, excepto en las obtenidas solo con almidón modificado.

Agradecimientos

A los estudiantes Sara Hincapié Ávila, Sara Patiño Mejía y Dubán Ovidio González Álvarez, del programa de Ingeniería de Alimentos de la Corporación Universitaria Lasallista.

Referencias

- MARTÍN, Ángel; *et al.* Encapsulation and Co-Precipitation Processes with Supercritical Fluids: Applications with Essential Oils. En: The Open Chemical Engineering Journal. 2010. Vol. 4, p. 31-41.
- GONZÁLEZ, A.; *et al.* Elemental composition of seasoning products. En: Talanta. 2008. Vol. 74, p. 1085-1095.
- MUNDAY, R. y MUNDAY, C. M. Low doses of diallyl disulfide, a compound derived from garlic, increase tissue activities of quinone reductase and glutathione transferase in the gastrointestinal tract of rat. En: Nutrition and cancer. 1999. Vol. 34, p. 42-48.
- GUYONNET, D.; *et al.* Modulation of phase II enzymes by organosulfur compounds from *Allium* vegetables in rat tissues. En: Toxicology and Applied Pharmacology. 1999. Vol. 154, p. 50-58.
- IDE, N. y LAU, B. H. S. Aged garlic extract attenuates intracellular oxidative stress. En: Phytomedicine. 1999. Vol. 6, p. 1225-131.
- MUNDAY, J. S.; *et al.* Daily supplementation with aged garlic extract, but not raw garlic, protects low density lipoprotein against in vitro oxidation. En: Atherosclerosis. 1999. Vol. 143, p. 309-304.
- BENKEBLIA, N. Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*). En: Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 2004. Vol. 37, No. 2, p. 363-268.
- YARDLEY, A. A preliminary study investigating the effect of the application of some essential oils on the in vitro proliferation of *Dermatophilus congolensis*. En: International Journal of Aromatherapy. 2004. Vol. 14, No. 3, p. 129-135.
- AL QATTAN, K. K.; ALNAQEEB, M. A. and ALI, M. The antihypertensive effect of garlic (*Allium sativum*) in the rat two-kidney-one-clip Goldblatt model. En: Journal of ethnopharmacology. 1999. Vol. 66, p. 217-222.
- BANERJEE, S.; *et al.* The Interactions of *Allium sativum* Leaf Agglutinin with a Chaperonin Group of Unique Receptor Protein Isolated from a Bacterial Endosymbiont of the Mustard Aphid. En: Journal of Biological Chemistry. 2004. Vol. 279, No. 22, p. 23782-23789.
- HUANG, Y.; CHEN, S. X. and HO, S. H. Bioactivities of Methyl Allyl Disulfide and Diallyl Trisulfide from Essential Oil of Garlic to Two Species of Stored-Product. En: Journal of economic entomologic. 2000. Vol. 93, No. 2, p. 537-543.
- BOYD, D. W. and ALVERSON, D. R. Repellency effects of garlic extracts on twospotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. En: Journal of Entomology Science. 2000. Vol. 35, p. 86-90.
- MOTSEI, M. L.; *et al.* Screening of traditionally used South African plants for antifungal activity against *Candida albicans*. En: Journal of Ethnopharmacology. 2003. Vol. 86, No. (2-3), p. 235-241.
- WANG, H. X. y NG, T. B. Purification of allivin, a novel antifungal protein from bulbs of the round-

- cloved garlic. En: Life Sciences. 2001. Vol. 70, No. 3. p. 357-365.
15. SINGH, K. y SINGH, D. K. Effect of different combinations of MGK-264 or piperonyl butoxide with plant-derived molluscicides on snail reproduction. En: Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2000. Vol. 38, No. 2. p. 182-190.
 16. BLOCK, E. The chemistry of garlic and onions. En: Scientific American. 1985. Vol. 252. p. 114-119.
 17. FAMÁ, L.; GERSCHENSON, L. y GOYANES, S. Nanocompuestos biodegradables y comestibles: almidón-polvo de ajo. En: Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. 2009. Supl.1, No. 3. p. 1235-1240.
 18. DURÁN, Melvin; GONZALEZ, Paula y CARDONA, Leonardo. Obtención y caracterización de la oleorresina del ajo (*Allium sativum*). En: Scientia et Technica. 2007. Vol. 37. p. 551-557.
 19. KRISHNAN, Savitha; BHOSALE, Rajesh y SINGHAL, Rekha S. Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. En: Carbohydrate Polymers. 2005. Vol. 61. p. 95-102.
 20. GIL, Andrea; *et al.* Obtención de la oleorresina de páprika por medio de tecnologías emergentes en Colombia. Un ejemplo de la innovación de producto. En: Perspectivas y Avances de Investigación. Medellín: Artes y Letras, 2010. p. 417 - 449. Serie Lasallista Investigación y Ciencia.
 21. GILBERSTON, G. Oleoresin as flavour ingredients. En: The Flavour Industry. 1971. Vol. 43. p. 403-405.
 22. KANAKDANDE, D.; BHOSALE, R. y SINGHAL, R. S. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. En: Carbohydrate Polymers. 2007. Vol. 67, No. 4. p. 536-541.
 23. SAÉNZ, Carmen; *et al.* Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from Cactus pear (*Opuntia ficus - indica*). En: Food Chemistry. 2009. Vol. 114. p. 616-622.
 24. AYALA-ZAVALA, Fernando; *et al.* Microencapsulation of cinnamon leaf (*Cinnamomum zeylanicum*) and garlic (*Allium sativum*) oils in β -cyclodextrin. En: J. Inclusion. Phenom. Macrocycl. Chem. 2008. Vol. 60. p. 359-368.
 25. BUFFO, R. and REINECCIUS, G. A. Optimization of gum acacia/modified starches/maltodextrin blends for the spray drying of flavors. En: Perfumer & Flavorist. 2000. Vol. 25. p. 37-49.
 26. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Análisis Sensorial: Directrices para el uso de escalas de respuestas cuantitativas. Bogotá: ICONTEC, 2004. 15 p. (NTC, 5328).
 27. LEWIS, Gareth A. and MATHIEU, Didier. Pharmaceutical Experimental Design. New York: Marcel Dekker, Inc. 1999, 498 p.
 28. CORNELL, John. Experiments with mixtures. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2002, 649p.
 29. SENDL, A. *Allium sativum* and *Allium ursinum*, Part 1. En: Chemistry, analysis, history, botany. Phytomedicine. 1995. Vol. 4. p. 323-339.
 30. KIMBARIS, A.; *et al.* Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compounds from garlic (*Allium sativum*). En: Ultrasonics Sonochem. 2006. Vol. 13. p. 54-60.
 31. BLOCK, E., Op. Cit., p. 114-119.
 32. HINCAPIÉ, C. A. Evaluación de extractos de bulbos de ajo (*Allium sativum* L) para el control de araña roja bimaculada (*tetranychus urticae koch*). Medellín: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2006, 143 p.
 33. KRISHNAN, S. Natural flavouring ingredients. In: Proceedings of seminar on spices, oleoresins and flavours. Bombay: AFSTI (Bombay chapter). 1981, p. 48-51.
 34. TRUBIANO, P. C. and LACOURSE, N. L. Emulsion-stabilizing starches: Use in flavour encapsulation. En: Flavour encapsulation. ACS symposium series. 1988. Vol. 370, p. 45-54.
 35. QI, Z. H., and XU, A. Starch based ingredients for flavour encapsulation. En: Cereal Foods World. 1999. Vol. 44, No. 7. p. 460-465.
 36. ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I. J.; and TALMON, Y. A scanning electron microscopy study of microencapsulation. En: Journal Food Science. 1985. Vol. 50, p. 139-144.
 37. SAÉNZ, Carmen; *et al.* Op. Cit., p. 616-622.
 38. GIL, Andrea; *et al.* Op. Cit., p. 417 - 449.
 39. LOKSUWAN, J. Characteristics of microencapsulated α -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. En: Food Hydrocolloids. 2007. Vol. 21. p. 928 - 935.
 40. GOUIN, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. En: Trends Food Sci. Technol. 2004. Vol. 15. p. 330-347.
 41. OSORIO, C.; *et al.* Microencapsulation by Spray-Drying of Anthocyanin Pigments from Corozo (*Bactris guineensis*) Fruit. En: J. Agric. Food Chem. 2010. Vol. 58, No. 11. p. 6977 - 6985.