



# UNIVERSIDAD DE MURCIA

## ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Evaluación de la Funcionalidad Tecnológica y  
Nutricional del Zumo de Lima (*Citrus latifolia tanaka*)  
Encapsulado en Pulverizado de Mesocarpo de Pomelos  
(*Citrus paradisi macf*)

**Dña. Yanilka Yulisa Alcantara Marte**  
**2018**



**UNIVERSIDAD DE MURCIA**

**ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO**

**EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD TECNOLÓGICA Y  
NUTRICIONAL DEL ZUMO DE LIMA (*Citrus latifolia* Tanaka)  
ENCAPSULADO EN PULVERIZADO DE MESOCARPO DE POMELOS  
(*Citrus paradisi* Macf)**

**Yanilka Yulisa Alcantara**

**2018**



## TESIS DOCTORAL

# EVALUACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD TECNOLÓGICA Y NUTRICIONAL DEL ZUMO DE LIMA (*Citrus latifolia* Tanaka) ENCAPSULADO EN PULVERIZADO DE MESOCARPO DE POMELOS (*Citrus paradisi* Macf)

Memoria presentada por la Ingeniera en Tecnología de Alimentos  
**D<sup>a</sup>. Yanilka Yulisa Alcantara**  
para optar al grado de Doctor por la Universidad de Murcia

Dirigida por  
**Dr. Gaspar Ros Berruezo**

Programa de Doctorado en Tecnología de los Alimentos,  
Nutrición y Bromatología

**2018**



Facultad de Veterinaria  
Universidad de Murcia

Departamento de Tecnología  
de los Alimentos, Nutrición y  
Bromatología

Campus Universitario de Espinardo. 30100 Murcia  
Tfnos: 868 888776 – Fax: 868 884147 –  
[www.um.es/nutricion-bromatologia/](http://www.um.es/nutricion-bromatologia/)

Aprobada desde 2007



*Ante todo a Dios;  
luego y muy especialmente a toda mi familia.*

<b>CONTENIDOS</b>	
<b>RESUMEN</b> .....	<b>10</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>15</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>20</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>21</b>
<b>2. -OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b> .....	<b>29</b>
<b>3.-DISEÑO Y ESTRUCTURA</b> .....	<b>32</b>
<b>4.-CAPÍTULOS</b> .....	<b>32</b>
<b>-Capítulo 1</b> .....	<b>33</b>
<b><i>Efecto de dos Métodos de Deshidratación y dos Grosos de Lámina de Mesocarpo de Pomelos (Citrus paradisi Macf) sobre Características Físicoquímicas de un Agente Encapsulante</i></b> .....	<b>33</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>34</b>
<b>2. Materiales y Métodos</b> .....	<b>36</b>
2.1- Tipo de Estudio y Diseño Experimental.....	36
2.2 Tratamientos Evaluados.....	36
2.3 Variables Evaluadas.....	37
2.4 Proceso para la Obtención del Agente Encapsulante a partir de Mesocarpo de Pomelo .....	39
2.5 Análisis Estadístico .....	40
<b>3. Resultados y Discusiones</b> .....	<b>41</b>
3.1. Efecto del Método de Deshidratación sobre Características Físicoquímicas del Agente Encapsulante Obtenido del Mesocarpo de Pomelo .....	41
3.2. Efecto del Grosor del Mesocarpo sobre Características Físicoquímicas del Agente Encapsulante obtenido del Mesocarpo de Pomelo .....	44
3.3. Efecto de la Interacción Grosor del Mesocarpo * Método de Deshidratación sobre Características Físicoquímicas del Agente Encapsulante Obtenido del Mesocarpo de Pomelo .....	46
<b>4. Conclusiones</b> .....	<b>48</b>
<b>5. Referencias</b> .....	<b>49</b>
<b>-Capítulo 2</b> .....	<b>51</b>
<b><i>Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos (Citrus paradisi Macf) Sobre Características Bromatológicas del Zumo de Lima (Citrus latifolia Tanaka) Encapsulado</i></b> .....	<b>51</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>52</b>
<b>2. Materiales y Métodos</b> .....	<b>54</b>
2.1- Tipo de Estudio y Diseño Experimental.....	54

2.2 Tratamientos Evaluados.....	54
2.3. <i>Proceso seguido para obtener los polvos de Zumo de Lima (Citrus latifolia Tanaka) Encapsulado en Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos (Citrus paradisi Macf)</i> .....	55
2.4 Variables Evaluadas.....	56
2.5 Análisis Estadístico .....	63
<b>3. Resultados y Discusiones.....</b>	<b>63</b>
3.1.- <i>Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos Sobre Características Físicoquímicas del Zumo de Lima Encapsulado.</i> .....	63
3.2. <i>Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre Características Nutricionales del Zumo de Lima Encapsulado.</i> .....	69
3.3- <i>Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre Componentes Bioactivos del Zumo de Lima Encapsulado.</i> .....	74
3.4. - <i>Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre las Diferencias en Características Organolépticas del Zumo de Lima Atomizado</i> 78	
3.5.- <i>Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre el Rendimiento del Zumo de Lima Encapsulado.</i> .....	82
3.6.- <i>Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre la Temperatura de Transición Vítrea del Polvo de Zumo de Lima Encapsulado...</i>	85
3.7.- <i>Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre la Morfología de las Partículas del Polvo del Zumo de Lima Encapsulado</i> .....	87
3.8.- <i>Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre el Tamaño de las Partículas del Polvo de Zumo de Lima Encapsulado</i> .....	89
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>91</b>
<b>5. Agradecimientos .....</b>	<b>92</b>
<b>6. Referencias.....</b>	<b>93</b>
<b>-Capítulo 3 .....</b>	<b>99</b>
<b><i>Caracterización del Zumo de Lima (Citrus latifolia Tanaka) Encapsulado a Diferentes Temperaturas de Entrada, Presiones de Aire de Atomización y Caudales de Alimentación en Mesocarpio de Pomelo (Citrus paradisi Macf) Pulverizado como Ayudante de Secado.</i>.....</b>	<b>99</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>100</b>
<b>2. Materiales y Métodos .....</b>	<b>102</b>
2.1.- <i>Tipo de Estudio y Diseño Experimental</i> .....	102
2.2. - <i>Materias Primas</i> .....	103
2.3.- <i>Proceso para la encapsulación de los zumos de lima (Citrus latifolia Tanaka) ....</i>	103
2.4 Variables Evaluadas.....	104
2.5.- <i>Análisis estadístico</i> .....	110

<b>3. Resultados y Discusiones</b> .....	<b>110</b>
<i>3.1.- Resultados de las Características del Zumo de C. latifolia Tanaka Encapsulado en Pulverizado de Mesocarpio de C. paradisi Macf, a Diferentes Temperaturas de Entrada, Presiones de Aire de Atomización y Caudales de Alimentación</i> .....	110
<i>3.2.- Resultados de las Características Sensoriales de los Zumos Atomizados a Diferentes Condiciones de Proceso</i> .....	119
<i>3.3 Resultados de la Temperatura de Transición Vítrea de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado</i> .....	127
<i>3.4.- Resultados de los Análisis de Morfología de las Partículas de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado</i> .....	132
<i>3.5 Resultados del Tamaño de las Partículas de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado</i> .....	134
<b>4. Conclusiones</b> .....	<b>9138</b>
<b>5. Agradecimientos</b> .....	<b>139</b>
<b>6. Referencias</b> .....	<b>93140</b>
<b>-Capítulo 4</b> .....	<b>146</b>
<b><i>Evaluación de la estabilidad de los polvos de zumo de lima (Citrus latifolia Tanaka) encapsulados en pulverizado de mesocarpio de pomelos (Citrus paradisi Macf), durante el almacenamiento a diferentes temperaturas</i></b> .....	<b>146</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>147</b>
<b>2. Materiales y Métodos</b> .....	<b>102</b>
<i>2.1. Tipo de Estudio</i> .....	148
<i>2.2. Proceso seguido para obtener los polvos de Zumo de Lima (Citrus latifolia Tanaka)</i> .....	148
<i>2.3. -Determinación de la estabilidad de los zumos de lima persa encapsulados, almacenados a distintas temperaturas</i> .....	149
<i>2.4 Variables Evaluadas</i> .....	150
<i>2.5 Análisis Estadístico</i> .....	151
<b>3. Resultados y Discusiones</b> .....	<b>151</b>
<i>3.1 -Resultados para la estabilidad de las características de los zumos de lima encapsulados, almacenados a distintas temperaturas</i> .....	151
<b>4. Conclusiones</b> .....	<b>159</b>
<b>5. Referencias</b> .....	<b>160</b>
<b>-Capítulo 5</b> .....	<b>163</b>
<b><i>Evaluación de inclusiones de zumo de lima (Citrus latifolia Tanaka) encapsulado en pulverizado de mesocarpio de pomelos (Citrus paradisi Macf) en néctar de lechosa y sus efectos sobre características de calidad</i></b> .....	<b>163</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>164</b>
<b>2. Materiales y Métodos</b> .....	<b>165</b>

2.1.- Tipo de Estudio y Diseño Experimental.....	165
2.2. - Materias Primas .....	166
2.3.- Proceso para la elaboración del néctar .....	166
2.4 Variables Evaluadas.....	166
2.5.- Análisis estadístico .....	169
<b>3. Resultados y Discusiones .....</b>	<b>169</b>
3.1.- Resultados de las características de calidad del néctar de lechosa.....	169
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>159</b>
<b>5. Referencias.....</b>	<b>160</b>
<b>5. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>179</b>
<b>6. AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>181</b>
<b>7. PUBLICACIONES ORIGINALES.....</b>	<b>183</b>
<b>8. COMUNICACIONES A CONGRESOS .....</b>	<b>183</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>184</b>

## RESUMEN

La lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka), es un fruto al cual se atribuyen diversas propiedades nutritivas, curativas y medicinales, debido a las características funcionales de su zumo. Sin embargo, este fruto es estacional, no climatérico y de vida comercial muy corta. Una de las formas de contribuir a la conservación de las características de este zumo, es mediante secado por aspersión; no obstante, presenta desafíos como el tipo y concentración del material de recubrimiento, las operaciones de proceso durante el secado, la selección del material de empaque y las condiciones de almacenamiento.

Por otro lado, el mesocarpio del pomelo (*Citrus paradisi* Macf) en estado fresco, contiene de 75 a 80% de agua, mientras que sus principales componentes, calculados en relación a la materia seca, son el 44% de azúcares, 33% de celulosa y 20% de sustancias pépticas. Además, contiene flavonoides, aminoácidos y vitaminas. Todo este material es desperdiciado en el procesamiento industrial.

Considerando los desafíos mencionados y buscando aprovechar un subproducto generado en el procesamiento industrial del pomelo, al tiempo que se perseguía agregar valor y posibilitar la industrialización y comercialización de un producto alternativo más duradero y que conserve al máximo las propiedades del zumo encapsulado, en esta investigación se evaluó su estabilidad en diferentes condiciones de almacenamiento y su funcionalidad tecnológica.

El objetivo del primer estudio fue obtener un agente encapsulante a partir del mesocarpio de pomelo (*Citrus paradisi* Macf) y caracterizarlo, para lo cual se evaluó el efecto de dos métodos de deshidratación (deshidratador de bandejas y horno microondas) y dos grosores de lámina de mesocarpio (2 mm y 4 mm) sobre el rendimiento, el porcentaje de deshidratación y características fisicoquímicas como pH, acidez titulable, actividad de agua, viscosidad, densidad aparente, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento. Todos los experimentos fueron realizados 3 veces y los resultados fueron expresados como medias aritméticas  $\pm$  Desviación Estándar. Los datos obtenidos fueron evaluados

mediante análisis de varianza utilizando el paquete estadístico Statistix para Windows (versión 8.0, Analytical Software, USA). Las medias fueron separadas utilizando la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 5%. Los resultados hallados indican que los métodos de deshidratación utilizados en esta investigación afectan a 6 de las 10 variables estudiadas en el agente encapsulante obtenido de mesocarpo de pomelo: pH, viscosidad, densidad aparente, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento. El grosor de la lámina de mesocarpo estudiado sólo tiene efecto sobre el porcentaje de rendimiento, porcentaje de deshidratación y la viscosidad del agente encapsulante de esta investigación. La interacción del grosor del mesocarpo con el método de deshidratación afecta al pH, viscosidad, densidad aparente, temperatura de gelatinización, índice absorción de agua y poder de hinchamiento de los agentes encapsulantes evaluados.

La finalidad de la segunda parte de la presente investigación fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de pulverizado de mesocarpo de pomelo (*Citrus paradisi* Macf), como ayudante de secado sobre características bromatológicas y el rendimiento del zumo de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka) encapsulado. Se utilizó un diseño completamente al azar, evaluando 5 concentraciones del agente de recubrimiento de mesocarpo de pomelo: 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 y 2,0 % (p/p), y empleando como testigo la maltodextrina 10 DE (1,2 %, relación p/p). Las variables evaluadas fueron pH, actividad de agua, acidez titulable, sólidos solubles, porcentaje de humedad, cenizas, contenido de carbohidratos, compuestos fenólicos totales, contenido de flavonoides, contenido de ácido ascórbico, diferencias en sabor, color y olor, la tasa de rendimiento, temperatura de transición vítrea y morfología de partículas. Todos los experimentos fueron realizados 3 veces y los resultados fueron expresados como medias aritméticas  $\pm$  Desviación Estándar. Los datos obtenidos fueron evaluados mediante análisis de varianza utilizando el paquete estadístico Statistix para Windows (versión 8.0, Analytical Software, USA). Las medias fueron separadas utilizando la prueba de Tukey con una confiabilidad de 95 %. Las diferencias organolépticas fueron evaluadas como frecuencias y se describió la morfología de las partículas. Además, se utilizó el análisis de regresión lineal para representar la relación del agente encapsulante con los datos obtenidos de las variables dependientes de este

estudio. Según los resultados, la actividad de agua y el contenido de cenizas fueron inversamente proporcionales a la concentración del material de recubrimiento adicionado, siendo los tratamientos con 1,2 % de encapsulante de pomelo y maltodextrina DE-10 estadísticamente iguales. El mayor valor de humedad se obtuvo con 0,4 % y el mayor valor de sólidos solubles con 2,0 %. El pH fue igual para todos los tratamientos, a excepción del 0,4 % que fue menor. De acuerdo a los resultados, las diferentes concentraciones de agentes encapsulantes estudiadas afectan significativamente las características fisicoquímicas y nutricionales evaluadas, a excepción de las proteínas. Los componentes bioactivos evaluados también fueron afectados significativamente, siendo más elevados en la mayoría de los tratamientos comparados con el testigo. Los panelistas encontraron diferencias en las características organolépticas evaluadas en todos los tratamientos, siendo estas más marcadas en el sabor, color y olor, respectivamente. El mayor rendimiento (46,76%) se obtuvo en el tratamiento con 1,2 % de agente encapsulante de pomelos. La cantidad de encapsulante utilizada en los zumos de lima persa no modificó la temperatura de transición vítrea de los polvos obtenidos al secarlos por aspersión. Al aplicar diferentes niveles de agente de recubrimiento en los zumos de lima, se obtienen partículas de polvo con distintos tamaños y formas (esféricas, irregulares y encogidas o reducidas). De las dosis evaluadas, se determina como mejor el tratamiento con 1,2 % de pulverizado de mesocarpio de pomelo como encapsulante.

El propósito del tercer estudio fue encapsular zumo de lima persa mediante secado por aspersión. Se evaluó el efecto de la temperatura de entrada (125, 135 y 145 °C), la presión de atomización (4,00; 4,21 y 4,42 kg/cm<sup>2</sup>) y la alimentación (0,80; 0,85 y 0,90 L/h). Se utilizaron diseños completamente aleatorizados simultáneos, con un testigo para cada caso, totalizando doce tratamientos. Las variables evaluadas fueron: rendimiento, pH, actividad de agua, sólidos solubles, humedad, proteínas, cenizas, hidratos de carbono, ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, temperatura de transición vítrea, diferencias de características sensoriales (color, olor y sabor) y la morfología de las partículas de polvo obtenidas. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias (Tukey), con una probabilidad de 5 % de error. Las diferencias en las características

organolépticas fueron analizadas por medio de frecuencias y se describió la morfología de las partículas. Los resultados hallados indican que la temperatura de entrada no influye sobre el contenido de sólidos solubles, porcentaje de humedad ni de cenizas. El caudal de alimentación no tiene efecto sobre los sólidos solubles, proteínas, cenizas ni  $T_g$  y el caudal de atomización afecta a todas las variables de respuesta evaluadas (rendimiento, pH, actividad de agua, sólidos solubles, humedad, proteínas, cenizas, hidratos de carbono, ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y temperatura de transición vítrea). Los polvos de zumo de lima persa microencapsulados con diferentes condiciones de secado, mostraron formas y estructuras variadas e irregulares, presentando las formas esféricas mejor definidas en los secados a temperaturas de entrada de 135°C y 145 °C, caudales de atomización de 4,00 kg/cm<sup>2</sup> y 4,21 kg/cm<sup>2</sup> y caudales de alimentación de 0,85 L/h y 0,90 L/h. Los panelistas encontraron diferencias en el sabor, color y olor de los zumos de lima encapsulados bajo distintas operaciones de proceso y rehidratados, respecto al zumo de lima fresco (recién exprimido). Los más parecidos al zumo fresco, en cuanto a sabor, fueron los tratados a 125 °C y a 0,90 L/h, respecto al color, el obtenido empleando una presión de atomización de 4,42 kg/cm<sup>2</sup>, y para el olor el secado a 145 °C.

El cuarto estudio fue descriptivo observacional y se realizó con el objetivo de evaluar la estabilidad de los zumos de lima persa encapsulados en pulverizado de mesocarpio de pomelo, durante 4 meses de almacenamiento a diferentes temperaturas (25°C, 30°C y ambiental), en términos de los parámetros: pH, actividad de agua, contenido de hidratos de carbono, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y flavonoides totales. Todos los ensayos fueron realizados 3 veces y los resultados fueron expresados como medias aritméticas de los parámetros para cada temperatura de almacenamiento en función del tiempo, utilizando el programa Excel 2016 para Windows. Se determinó que los zumos de lima persa deshidratados por aspersión muestran una tendencia hacia el aumento para el pH y la actividad de agua, con el transcurso del tiempo. La mayor  $a_w$  siempre es observada en los microencapsulados almacenados en condiciones ambientales. La concentración de carbohidratos, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y flavonoides totales presentes en el zumo de lima atomizado, muestra un comportamiento muy inestable a lo largo de su vida comercial,

siendo las pérdidas más acusadas durante el almacenamiento a temperatura ambiente y a 30°C. En el contenido de hidratos de carbono, se observa un descenso muy pronunciado en los productos almacenados a 30°C. Los zumos de lima atomizados sólo mantienen de 8,68 a 10,48 % del contenido total inicial de ácido ascórbico al momento de ser almacenados, perteneciendo estos valores a los polvos conservados a temperatura ambiental y a 25°C, respectivamente. A partir del tercer mes de almacenamiento, los productos pierden más del 50 % de ácido ascórbico inicial, a excepción del conservado a 25°C. Los flavonoides totales son los compuestos bioactivos evaluados que muestran mayor estabilidad en el tiempo de almacenamiento. Los encapsulados almacenados a 25 °C muestran una tendencia lineal desde el primer mes de almacenados, disminuyendo aproximadamente 0,05 mg/g cada mes; mientras que los almacenados a temperatura ambiental, conservan los mayores valores a partir del tercer mes de almacenamiento.

Finalmente, el propósito del quinto estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de diferentes concentraciones del zumo de lima persa encapsulado en pulverizado de mesocarpio de pomelo (0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 y 0,05 %), sobre el pH, actividad de agua, sólidos solubles, humedad, L\*, a\*, b\*, C\* y Hue de un néctar de lechosa. Se utilizó un diseño completamente al azar, con un testigo (utilizando 0,03 % de ácido cítrico como acidulante), totalizando 6 tratamientos. Los datos obtenidos fueron evaluados mediante análisis de varianza (one-way ANOVA). Las medias fueron separadas usando la Prueba de Tukey (P<0,05), mediante el programa Statistix para Windows versión 8.0. Para la representación de los resultados se empleó la media aritmética como medida central  $\pm$  desviación estándar de tres corridas de cada experimento. Los hallazgos indican que, de las variables de respuesta evaluadas en el néctar de lechosa, la inclusión de zumo de lima atomizado ejerce influencia sobre el pH, a\* y Hue o tonalidad. Respecto a la medición del color a nivel instrumental, la inclusión de zumo de lima atomizado en néctar de lechosa solo presenta diferencias estadísticas en el parámetro a\*, localizándose los valores de todos los productos evaluados en el cuadrante rojo-amarillo.

**ABSTRACT**

Persian lemon (*Citrus latifolia* Tanaka) is a fruit to which various nutritional, healing and medicinal properties are attributed, due to the functional characteristics of its juice. However, this fruit is seasonal, not climacteric and has very short commercial life. One of the ways to contribute to the conservation of the characteristics of this juice, is by spray drying; however, presents challenges such as the type and concentration of coating material, processing operations during drying, selection of packaging material and storage conditions.

On the other hand, the mesocarp of grapefruit (*Citrus paradisi* Macf) in fresh condition, contains 75 to 80 % of water, while its main components, calculated in relation to dry matter, are 44 % sugars, 33 % of cellulose and 20 % of pectic substances. It also contains flavonoids, amino acids and vitamins. All this material is wasted in industrial processing.

Considering the challenges mentioned above and seeking to take advantage of a byproduct generated in the industrial processing of grapefruit, while pursuing to add value and enable the industrialization and commercialization of a more durable alternative product and that conserves to the maximum the properties of the encapsulated juice, in this research was evaluated its stability in different storage conditions and its technological functionality.

The objective of the first study was to obtain an encapsulating agent from the grapefruit mesocarp (*Citrus paradisi* Macf) and to characterize it, for which was evaluated the effect of two dehydration methods (tray dehydrator and microwave oven) and two film thicknesses of mesocarp (2 mm and 4 mm) on yield, percentage of dehydration and physicochemical characteristics such as pH, titratable acidity, water activity, viscosity, bulk density, gelatinization temperature, water absorption index and swelling power. All experiments were run 3 times and the results were expressed as arithmetic means  $\pm$  Standard Deviation. The obtained data were evaluated by analysis of variance using the statistical package Statistix for Windows (version 8.0, Analytical Software, USA). The means were separated using the Tukey test with an error

probability of 5 %. The results found indicate that the dehydration methods used in this research affect 6 of the 10 variables studied in the encapsulating agent obtained from grapefruit mesocarp: pH, viscosity, apparent density, gelatinization temperature, water absorption index and swelling power. The thickness of the studied mesocarp sheet only has an effect on the percentage of yield, percentage of dehydration and the viscosity of the encapsulating agent of this investigation. The interaction of the thickness of the mesocarp with the dehydration method affects the pH, viscosity, bulk density, gelatinization temperature, water absorption index and swelling power of the evaluated encapsulating agents.

The purpose of the present research's second part was to evaluate the effect of different concentrations of pulverized grapefruit (*Citrus paradisi* Macf) mesocarp, as a drying aid on bromatological characteristics and the yield of encapsulated Persian lemon (*Citrus latifolia* Tanaka) juice. A completely randomized design was used, evaluating 5 concentrations of the grapefruit mesocarp coating agent: 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 and 2,0 % (w/w), and using maltodextrin 10 DE as a control (1,2 % w/w ratio). The variables evaluated were pH, water activity, titratable acidity, soluble solids, percentage of moisture, ash, carbohydrate content, total phenolic compounds, flavonoid content, ascorbic acid content, differences in taste, color and odor, yield rate, glass transition temperature and particle morphology. All experiments were run 3 times and the results were expressed as arithmetic means  $\pm$  Standard Deviation. The obtained data were evaluated by analysis of variance using the statistical package Statistix for Windows (version 8.0, Analytical Software, USA). The means were separated using the Tukey test with a reliability of 95 %. The organoleptic differences were evaluated as frequencies and the particles morphology was described. In addition, linear regression analysis was used to represent the encapsulating agent relation with the data obtained from the variables dependent on this study. According to the results, the water activity and the ash content were inversely proportional to the concentration of the added coating material, with the treatments with 1,2 % of grapefruit encapsulant and maltodextrin DE-10 being statistically equal. The highest moisture value was obtained with 0,4 % and the highest value of soluble solids with 2,0 %. The pH was the same for all treatments, except for the 0,4 % that was lower.

According to the results, the different concentrations of encapsulating agents studied significantly affect the physicochemical and nutritional characteristics evaluated, with the exception of proteins. The bioactive components evaluated were also significantly affected, being higher in most treatments compared to the control. The panelists found differences in the organoleptic characteristics evaluated in all the treatments, being these more marked in the flavor, color and odor, respectively. The highest yield (46,76 %) was obtained in the treatment with 1,2 % of grapefruit encapsulating agent. The amount of encapsulant used in Persian lemon juice did not modify the glass transition temperature of the powders obtained by spray drying. Applying different levels of coating agent in lemon juices, dust particles of different sizes and shapes (spherical, irregular and shrunk or reduced) are obtained. Of the doses evaluated, is determined as best the treatment with 1,2 % pulverized grapefruit mesocarp as encapsulant.

The third study purpose was to encapsulate Persian lemon juice by spray drying. The effect of the inlet temperature (125, 135 and 145 °C), atomization pressure (4,00; 4,21 and 4,42 Kg/cm<sup>2</sup>) and feed (0,80; 0,85 and 0,90 L/ h) was evaluated. They were used completely randomized, simultaneous designs, with a control for each case, totaling twelve treatments. The variables evaluated were: yield, pH, water activity, soluble solids, moisture, proteins, ashes, carbohydrates, ascorbic acid, total phenolic compounds, total flavonoids, glass transition temperature, differences in sensory characteristics (color, odor and taste) and the morphology of the powder particles obtained. The results were analyzed by analysis of variance and comparison of means (Tukey), with a probability of 5 % error. Differences in organoleptic characteristics were analyzed by means of frequencies and the morphology of the particles was described. The results found indicate that the entry temperature has no influence on the content of soluble solids, percentage of moisture or ashes. The feed rate has no effect on soluble solids, protein, ash or Tg, and the atomization rate affects all response variables evaluated (yield, pH, water activity, soluble solids, moisture, protein, ash, carbohydrates, ascorbic acid, total phenolic compounds, total flavonoids and glass transition temperature). The microencapsulated Persian lemon juice powders with different drying conditions showed varied and irregular shapes and

structures, showing the best defined spherical forms in the drying at inlet temperatures of 135 °C and 145 °C, atomization flow rates of 4,00 Kg/cm<sup>2</sup> and 4,21 Kg/cm<sup>2</sup> and feed rates of 0,85 L/h and 0,90 L/h. The panelists found differences in taste, color and odor of lemon juice encapsulated under different processing operations and rehydrated, compared to fresh (freshly squeezed) lemon juice. The most similar to fresh juice, in terms of taste, were those treated at 125 °C and 0,90 L/h, with respect to color, those obtained using an atomization pressure of 4,42 Kg/cm<sup>2</sup>, and for odor those dried at 145 °C.

The fourth study was descriptive observational and was performed with the objective of evaluating the stability of the Persian lemon juices encapsulated in pulverized grapefruit mesocarp, during 4 months of storage at different temperatures (25°C, 30°C and ambient), in terms of the parameters: pH, water activity, carbohydrate content, ascorbic acid, phenolic compounds and total flavonoids. All the tests were run 3 times and the results were expressed as arithmetic means of the parameters for each storage temperature as a function of time, using the program Excel 2016 for Windows. It was determined that spray dried Persian lemon juices show a tendency towards increase for pH and water activity, over time. The highest aw is always observed in microencapsules stored under ambient conditions. The concentration of carbohydrates, ascorbic acid, phenolic compounds and total flavonoids present in the atomized lemon juice, shows a very unstable behavior throughout their commercial life, with the most severe losses during storage at room temperature and at 30°C. In the carbohydrate content, a very steep decline is observed in the products stored at 30 °C. Atomized lemon juices only maintain from 8, 68 to 10, 48 % of the initial total ascorbic acid content at the time of storage, these values belonging to the powders kept at room temperature and at 25 °C, respectively. From the third month of storage, the products lose more than 50 % of initial ascorbic acid, except for the preserved at 25 °C. Total flavonoids are the bioactive compounds evaluated which show greater stability in storage time. Encapsulated stored at 25 °C show a linear trend from the first month of storage, decreasing by approximately 0,05 mg/g each month; while those stored at ambient temperature, retain the highest values after the third month of storage.

Finally, the purpose of the fifth study was to evaluate the effect of the inclusion of different concentrations of encapsulated Persian lemon juice on pulverized grapefruit mesocarp (0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 and 0,0 5%), on pH, water activity, soluble solids, moisture, L\*, a\*, b\*, C\* and Hue of a papaya nectar. A completely randomized design with a control (using 0,03 % of citric acid as acidulant) was used, totaling 6 treatments. The data obtained were evaluated by analysis of variance (one-way ANOVA). The means were separated through the Tukey test ( $P < 0.05$ ), using the Statistix program for Windows version 8.0. For the results representation, the arithmetic mean was used as central measure  $\pm$  Standard Deviation of three runs of each experiment. The findings indicate that, from the response variables evaluated in papaya nectar, the inclusion of atomized lemon juice influences pH, a\* and Hue. Regarding color measurement at the instrumental level, the inclusion of atomized lemon juice into papaya nectar only presents statistical differences in the parameter a\*, being located the values of all products evaluated in the red-yellow quadrant.

**ABREVIATURAS**

- (FAO) Food and Agriculture Organization
- (IICA) Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
- (UMU) Universidad de Murcia
- (DE) Desviación Estándar
- (SAIT) Servicio de Apoyo a la Investigación y Tecnología
- (L\*, a\* y b\*) Valores de color
- (CIELAB) Commission International d'eclairage color model
- (s) Segundo
- (mA) miliamperio
- (kV) kilovoltio
- (MEB) Microscopio Electrónico de Barrido
- (Aw) Actividad de Agua
- (IAA) Índice de Absorción de Agua
- (PH) Poder de Hinchamiento

## **1.- INTRODUCCIÓN GENERAL**

Los cítricos ocupan una posición privilegiada en la dieta humana, por los beneficios que ofrece su ingesta, debido a sus propiedades nutritivas y antioxidantes. La industrialización de los cítricos no se limita a la extracción de zumos, sino que permite la obtención de una gran variedad de derivados como los polvos secados por aspersión, cuya obtención y optimización suponen desafíos que conllevan variaciones de las condiciones de proceso y la realización de diferentes ensayos experimentales. Además, la industrialización de estos frutos permite la generación de subproductos de los cuales su aprovechamiento es posible. La recuperación del mesocarpo (producto de desecho), para la obtención de un agente encapsulante de bajo costo, que pueda ser industrializado y comercializado como alternativa a los existentes, constituye una de estas formas de aprovechamiento y el pomelo es uno de los cítricos con mayor cantidad de este.

### ***Agentes Encapsulantes o de Recubrimiento***

Un agente encapsulante es el material que forma la pared o estructura alrededor de la sustancia microencapsulada (núcleo), protegiéndola contra el deterioro y liberándola bajo condiciones deseadas (Young *et al.*, 1992; Madene *et al.*, 2006). Estos materiales son inertes, permiten una difusión rápida de nutrientes y oxígeno hacia dentro y fuera de la cápsula, y pasan fácilmente de forma sólida (gel) a líquida (suspensión o solución) mediante cambios de temperatura o de concentración iónica (Flores y Jiménez, 2013).

Existe una amplia variedad de materiales de recubrimiento que pueden ser usados para encapsular ingredientes alimentarios y farmacéuticos; sin embargo, según Beristain (1996) cada uno de ellos tiene sus limitaciones. En general, los requisitos para que un encapsulante sea óptimo en el secado incluyen: un alto grado de solubilidad, baja viscosidad, alto contenido de sólidos en la solución (35 - 45 %), buenas propiedades emulsificantes, buenas propiedades de secado, un carácter no higroscópico, sabor suave, no reactivo, bajo costo (Murua *et al.*, 2009), pH aproximado

de 3-4, contenido de humedad aproximado de 5-6 % y que sean polvos de color blanco a blanco cremoso (Aguilar, 2007).

Los agentes encapsulantes más utilizados en el secado por atomización han sido: carbohidratos (almidón y derivados, maltodextrinas, jarabes de maíz, ciclodextrinas, carboximetilcelulosa y derivados); gomas (arábica, mezquite, alginato de sodio); lípidos (ceras, parafinas, grasas) y proteínas (gelatina, proteína de soya, caseinatos, suero de leche, zeína). El tipo de material de cobertura influye en la estabilidad antes del secado, tamaño de partícula, propiedades de flujo, propiedades mecánicas y en la vida útil del material deshidratado (Vega, 2011).

La selección del método de encapsulación dependerá del tamaño medio de la partícula requerida y las propiedades fisicoquímicas del agente de recubrimiento y la sustancia a encapsular; las aplicaciones para el material microencapsulado, el mecanismo de liberación deseado y el coste (Yáñez *et al.*, 2005).

### **Mesocarpo de Pomelos**

El fruto de pomelo consta de: exocarpo (flavedo: presenta vesículas que contienen aceites esenciales), mesocarpo (albedo: pomposo, grueso y de color blanco) y endocarpo (pulpa: presenta tricomas con jugo, de color blanco, rosa o rojo) (FAO-IICA, 2006). El albedo, mesocarpo o mesocarpio es el tejido esponjoso y blanco de los cítricos que se encuentra debajo del flavedo (cáscara) y proporciona agua y materiales nutritivos. Puede constituir del 20 al 60 % de la totalidad del fruto, variando el grosor de la corteza. El albedo fresco contiene de 75 a 80 % de agua, mientras que sus principales componentes, calculados en relación a la materia seca, son el 44 % de azúcares, 33 % de celulosa y 20 % de sustancias pépticas. El término sustancias pépticas designa a unos hidratos de carbono coloidales y complejos que comúnmente se encuentran en todos los tejidos de las plantas y en especial en los frutos. Además, contiene flavonoides, aminoácidos y vitaminas (Fennema, 1993).

Desde el punto de vista comercial, la pectina es el componente más importante del albedo, y de él se obtiene ahora en grandes cantidades en forma de polvo, para usarla como ingrediente de gran utilidad en la fabricación de mermeladas, jaleas,

compotas y muchos otros productos. También se emplea como agente adhesivo y como activo encapsulante en la deshidratación de alimentos y líquidos (Ruiz y Saavedra, 2007).

### ***Secado por Microondas Versus Aire Caliente***

Dentro de los métodos más aplicados en los procesos de secado se encuentran el convectivo y el microondas. El convectivo transmite el calor necesario para la evaporación del agua y transporta el vapor de agua que se elimina del alimento (Fito *et al.*, 2001). El secado por microondas no es gobernado por los mecanismos de transferencia de calor, como en el convencional, por lo cual los tiempos de secado son más cortos y se tiene mayor eficiencia energéticamente (Bórquez *et al.*, 2009).

El deshidratado por microondas, en comparación con los procesos convencionales de deshidratación de alimentos mediante aire caliente, conduce a tiempos de proceso más cortos, mayores rendimientos energéticos y unas mejores características en la calidad del producto final. Las microondas calientan selectivamente las partes del alimento con mayor contenido en agua, por lo que este sistema de calentamiento de alimentos es más rápido que el secado convencional. Además, el daño térmico que esta radiación produce es mínimo y no provoca cambios de color, ya que el alimento apenas se calienta (Fellows, 1994).

Entre las principales ventajas del uso de microondas en el secado se pueden citar: reducción en el impacto ambiental, ahorro de energía con respecto a los métodos tradicionales, uso de energía limpia, ahorro de espacio, disminución de los tiempos de proceso (Arballo, 2013), mayor eficiencia en la difusión de calor y materia; desarrollo de gradientes internos de humedad que aumentan la velocidad de secado y posibilidad de trabajar a menores temperaturas superficiales (Mascheroni, 2006). El uso de microondas presenta la ventaja de una elevada velocidad de calentamiento sin provocar efectos negativos en la superficie del alimento (Rocca, 2010).

Según Mascheroni (2006), son pocas las desventajas que presenta el secado por microondas respecto a la deshidratación por convección, destacan: calentamiento no uniforme del producto; costos de instalación altos y eficiencia energética baja; sólo se

considera viable para alimentos que requieren tiempos de secado cortos y una producción significativa, es decir, aquellos alimentos a los cuáles debe eliminarse una baja cantidad de agua.

### ***Deshidratación por Aspersión***

El deshidratado por aspersión, también llamado atomización o spray, según Morales *et al.*, (2010) tiene una gran gama de aplicaciones en la industria farmacéutica, alimentaria y de detergentes. Los materiales de alimentación generalmente se encuentran en forma líquida y pueden ser dispersadas en forma de rocío. El fluido es atomizado o dispersado como gotitas finas que se ponen en contacto inmediato con flujo de aire o gas caliente. Orna (2012) indica que el principio de este sistema es la obtención de un producto en polvo a partir de un material líquido concentrado que se pulveriza finamente formando una niebla que entra en contacto con una corriente de aire caliente. Este método de deshidratación representa una alternativa viable para conseguir polvos de alto valor comercial, debido a la reducción de peso, facilidad de conservación, calidad del producto en general (Murga, 2014), baja actividad de agua, y buenas características reconstitucionales (Tonon *et al.*, 2010). Sin embargo, presenta desafíos como el tipo y concentración del material de recubrimiento, las operaciones de proceso durante el secado, la selección del material de empaque y las condiciones de almacenamiento. Por lo cual, a los fines de obtener alimentos deshidratados de buena calidad es imprescindible realizar ensayos experimentales de secado para cada tipo de producto, mediante el registro de peso a diferentes intervalos, para poder establecer de manera correcta, las condiciones óptimas de secado, en las que se mantenga lo mejor posible el valor nutricional del producto (Juntamay, 2010).

El secado por aspersión es el método más usado para encapsular ingredientes alimenticios, por la protección que ofrece al material. Chávez (2007) señala que este método ha sido empleado satisfactoriamente en el desarrollo de un gran número de productos y que es una de las operaciones más importantes en la industria alimentaria, ya que es aplicable en diferentes procesos en donde destaca la encapsulación de sabores y aceites esenciales.

La encapsulación es un proceso mediante el cual sustancias bioactivas se introducen en una matriz para impedir que se pierdan, protegerlas de la reacción con otros compuestos o frenar reacciones de oxidación a causa de la luz o del oxígeno (Rodríguez *et al.*, 2012). Se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica permeable conteniendo una sustancia activa (Araneda y Valenzuela, 2009). En términos generales, la encapsulación constituye un medio de envasar, separar y almacenar materiales para su posterior liberación bajo condiciones controladas. Esta tecnología aporta, en el ámbito alimentario, productos con mejores características sensoriales y nutricionales porque enmascara los sabores amargos y evita la degradación y la oxidación.

### ***Características de la Lima***

De acuerdo a Velasco (2009), la lima es una fruta de sabor ácido que posee un alto contenido en vitamina C (501.6 mg/l) y ácido cítrico (49.88 g/l). La riqueza en vitamina C proviene de su contenido en ácido ascórbico, que representa alrededor del 5 %. La lima contiene aproximadamente 30 componentes antioxidantes además de la vitamina C, como los flavonoides: rutina, hesperidina, naringenina o luteína; betacarotenos; o los ácidos cafeico, ferúlico o gamma terpineno. Su propiedad más conocida es su particular acidez, determinada por ácido cítrico, con un valor aproximado de pH de 2.1.

Los frutos maduros de lima Persa contienen de 40 al 60 % de jugo o zumo (González, 2011). Según CODEX (2005), zumo de fruta: es el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados. De acuerdo con González (2011), el zumo de lima Persa, posee 5 a 6 % de acidez, 7 a 8 % de sólidos solubles y un contenido de ácido ascórbico de 20 a 45 mg por 100 ml de jugo.

La aceptación de la lima en la vida diaria se debe a que presenta un alto valor nutritivo (González, 2011). Los efectos beneficiosos del consumo de frutos cítricos sobre la salud humana están basados en las propiedades antioxidantes y anti-radical

---

de sus componentes como el ácido ascórbico, los flavonoides, carotenoides, antocianinas, los derivados del ácido cinámico, entre otros (García *et al.*, 2003).

### ***Inclusión de microencapsulados de zumos en la industria de alimentos***

En la actualidad el consumo de zumos de frutas se ha convertido en una gran demanda por los nutrientes y vitaminas que contienen, es por ello que las tendencias en la alimentación han dado un giro hacia lo natural buscando productos saludables, nutritivos y de fácil preparación; productos con un mínimo tratamiento y con menor agregado de ingredientes sintéticos, de tal modo que estos contribuyan a preservar la salud y hasta curar (Huertas y Moreno, 2015).

El proceso de secado surge debido a la necesidad de poder consumir alimentos que en cierta época del año no se cosechan o producen y que por su composición química son susceptibles a descomponerse. Los productos obtenidos mediante deshidratación por atomización representan una alternativa viable y de alto valor comercial, debido a la calidad en general y a la diversidad en su uso (Murga, 2014). Son muy solicitados ya que son totalmente naturales, son ricas fuentes de fibra, tienen un valor nutricional comparable con el producto en fresco y pueden ser consumidos a cualquier hora. Aunque algunas de sus vitaminas, en especial las hidrosolubles (vitamina C, B1, B2, B6, B12, etc.) disminuyen su contenido al someter el producto al calor, otras, como las liposolubles (vitamina A, O, E, etc.) permanecen casi inalterables, igualmente sucede con los minerales. Adicionalmente, el uso de materias primas en polvo facilita y reduce los costos de transporte, reduce la contaminación microbiológica en planta y el proceso se hace más práctico y sencillo.

Estudios de microencapsulación de diversos zumos han sido realizados mediante secado por aspersión (Naddaf *et al.*, 2012).

1. Aguilar, C. 2007. Optimización del proceso de modificación del almidón de maíz ceroso por extrusión y el uso de mezclas de almidones modificados con mucílago de nopal para la encapsulación de aceite esencial de naranja empleando el secado por aspersión. Tesis de grado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
2. Araneda, C. y Valenzuela, F. 2009. Microencapsulación de Extractantes: Metodología Alternativa de Extracción de Metales. *Revista Ciencia Ahora* 22(11): 9-19.
3. Arballo, J. 2013. Modelado y Simulación de la Deshidratación Combinada Osmótica-Microondas de Frutihortícolas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata.
4. Beristain, C. 1996. Estudio de las Propiedades Termodinámicas de Microencapsulados por Hidrocoloides Naturales Obtenidos por Secado por Aspersión y de la Relación con su Estabilidad. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.
5. Bórquez, R., Sepúlveda, C., Contreras, C. y Amthauer, C. 2009. Secado de Frambuesas Empleando Mecanismos Combinados de Deshidratación Osmótica con Pulsos de Vacío y Microondas a Vacío. XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química.
6. Chávez, C. 2007. Ceroso por Extrucción y el uso de Mezclas de Almidones Modificados con Mucílagos de Nopal para la Encapsulación de Aceite Esencial de Naranja Empleando el Secado por Aspersión. Universidad del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto. México.
7. CODEX para Zumos (Jugos) y Néctares de Frutas (Codex Stan 247-2005). <https://www.google.com.do/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=definici%C3%B3n+de+zumo>.
8. FAO-IICA. 2006. Toronja (*Citrus paradisi*). Fichas técnicas productos frescos y procesados.
9. Fennema, O. 1993. Química de los Alimentos. Ed. Acribia, S. A. Zaragoza, España. 1095 p.
10. Fito, P., Andrés, A., Barát, J. y Abors, A. 2001. Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
11. Flores, I. y Jiménez, M. 2013. Microencapsulación de Compuestos Activos con Quitosano. Universidad de las Américas Puebla. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 7 – 1: 48 – 56.
12. García L, Del Rio C, Porras C, Fuster S, Ortuño T. 2003. El limón y sus componentes bioactivos. Consejería de agricultura, agua y medio ambiente. Murcia, España.
13. González, F. 2011. Compilación Bibliográfica del Limón Persa (*Citrus latifolia*). Monografía, Examen Profesional. Universidad Veracruzana.
14. Huertas, G. y Moreno, A. 2015. Optimización del proceso de atomización del zumo de toronja (*Citrus paradisi*). Tesis de grado. Universidad Nacional del Santa. Perú.
15. Juntamay, E. 2010. Evaluación nutricional de la uvilla (*Physalis peruviana* L) deshidratada, a tres temperaturas mediante un deshidratador de bandejas. Escuela Politécnica del Chimborazo. Facultad de Ciencias. Riobamba Ecuador.
16. Morales, G., Medina, M., Andrés, E., Maldonado, S. y Dionisio, L. 2010. Evaluación de los efectos del secado por aspersión sobre los compuestos fotoquímicos funcionales y características fisicoquímicas en la encapsulación de zarzamora (*Rubus spp*).
17. Murúa, B., Beristain, C. y Martínez, F. 2009. Preparation Of Starch Derivatives using Reactive Extrusion and Evaluation of Modified Starches as Shell Materials for Encapsulation of Flavoring Agents by Spray Drying. *Journal of Food Engineering*, 91: 380-386.
18. Murga, E. 2014. Estudio del secado por atomización de la pulpa de Guayaba (*Psidium guajava* L.) del ecotipo

- rosado. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú.
19. Naddaf, L., Avalo, B. y Oliveros, M. 2012. Secado por aspersion de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. Vol. 35, N° 1.
  20. Rocca, P. 2010. Secado de Alimentos por Métodos Combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Tesis de Maestría.
  21. Rodríguez, A., Belmares, R., Montañez, J., Aguilar, C. y Cruz, M. 2012. Encapsulación de Enzimas: Ventajas y Desventajas. *Cienciaviva* No. 30.
  22. Ruiz, G. y Saavedra, J. 2007. Determinación de los parámetros óptimos de funcionamiento para un equipo de extracción sólido – líquido en la extracción de aceite esencial de naranja usando un sistema de cáscara de naranja – alcohol etílico. Tesis de grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
  23. Tonon, R., Brabet, C. y Hubinger, M. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents, *Food Res. Int.* 43; 907–914.
  24. Vega, J. A. 2011. Obtención y Caracterización de Inulina Entrecruzada como Agente Encapsulante de  $\alpha$  – Tocoferol. Tesis de grado para optar por el título de Químico Farmacéutico. Universidad de Chile.
  25. Velasco, A. 2009. Proyecto de Factibilidad para la Exportación de Limón Deshidratado al Mercado Chino en el Período 2009-2017. Tesis de Grado. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
  26. Yáñez Fernández, J., Salazar Montoya, J.A., Chaires Martínez, L., Jiménez Hernández, J., Márquez Robles, M. y Ramos Ramírez, E. G. 2005. Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación. *Mundo Alimentario* Marzo/Abril 2005
  27. Young, S., Sarda, X. y Rosenberg, M. 1992. Microencapsulating Properties of Whey Proteins with Carbohydrates. *Journal Dairy Science* 76(10): 2878-2885.

## **2. -OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

Los principales objetivos de la presente investigación fueron: A) Evaluar la funcionalidad tecnológica y nutricional de zumo de lima encapsulado utilizando un ayudante de secado obtenido del mesocarpo de pomelo, a los fines de adquirir evidencias. B) Obtener y caracterizar un agente encapsulante a partir del pulverizado de mesocarpo de pomelo (*Citrus paradisi* Macf). C) Aprovechar un subproducto generado en el procesamiento industrial del pomelo, darle valor agregado, disminuir costos de producción en el proceso de encapsulación y posibilitar la comercialización de un nuevo producto. Esta tesis doctoral tuvo como objetivos específicos:

1. Comparar dos métodos de secado (deshidratador de bandejas y horno microondas) y dos grosores de láminas del mesocarpo de pomelo (*Citrus paradisi* Macf) en la obtención y caracterización fisicoquímica de un agente encapsulante.
2. Optimizar la relación encapsulante/zumo de lima para maximizar el rendimiento y evaluar sus efectos sobre características fisicoquímicas, nutricionales, morfológicas y organolépticas en el producto microencapsulado.
3. Optimizar el secado por atomización del zumo de lima con el agente encapsulante del mesocarpo de pomelos y evaluar los efectos del caudal de aire de atomización, el caudal de alimentación y la temperatura de entrada sobre características fisicoquímicas, nutricionales, morfológicas y organolépticas en el producto microencapsulado.
4. Evaluar la estabilidad de los polvos de zumo de lima encapsulados en pulverizado de mesocarpo de pomelos, durante el almacenamiento a diferentes temperaturas
5. Evaluar el efecto de diferentes inclusiones de zumo de lima (*Citrus latifolia* Tanaka) encapsulado en pulverizado de mesocarpio de pomelos (*Citrus paradisi* Macf) sobre características de calidad del néctar de lechosa.

### **3. -DISEÑO Y ESTRUCTURA**

#### *Diseño Experimental*

La presente tesis doctoral estuvo estructurada de cinco estudios, cuyos resultados fueron publicados o están en el proceso de revisión en diferentes revistas científicas.

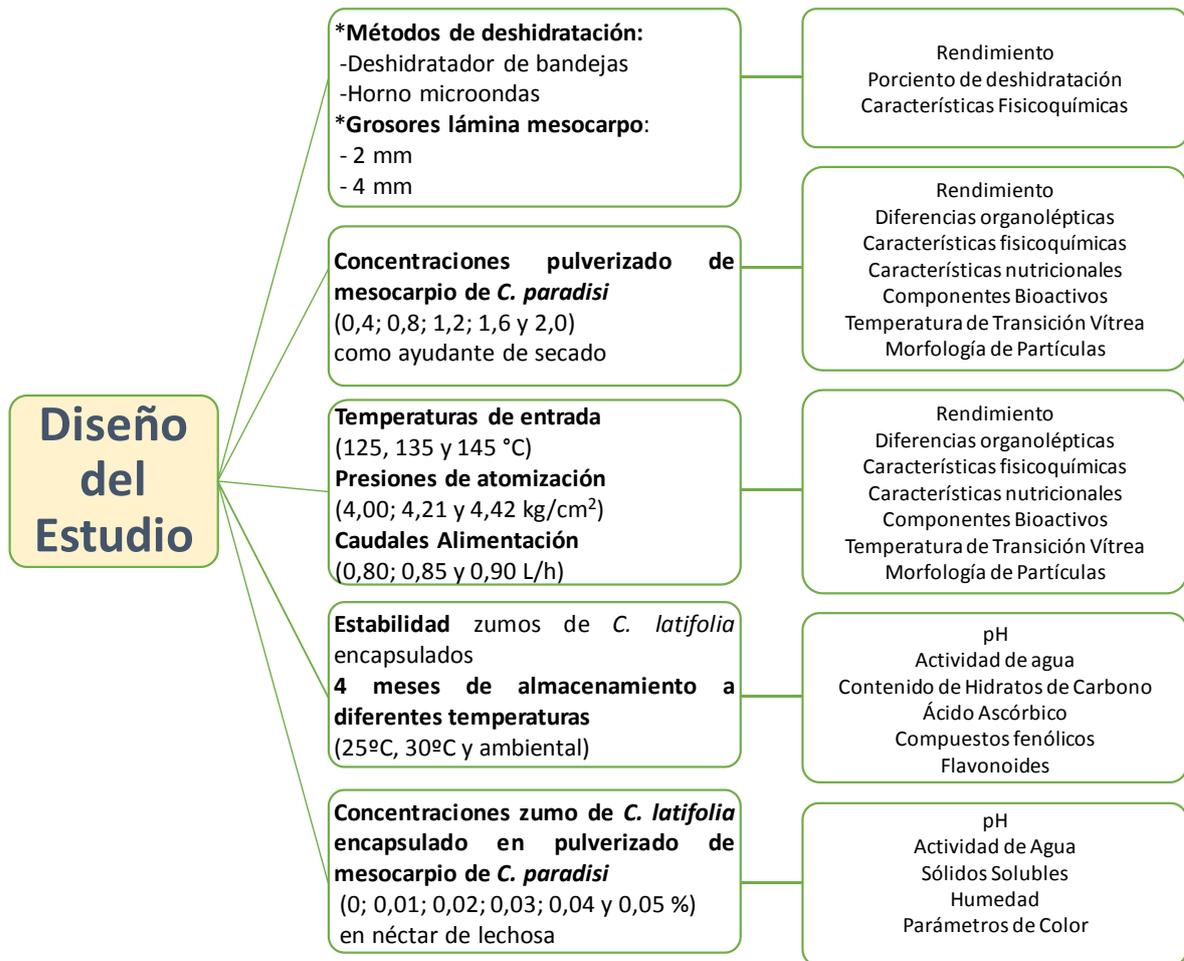
Los cinco estudios incluidos son:

1. Efecto de dos Métodos de Deshidratación y dos Grosos de Lámina de Mesocarpo de Pomelo (*Citrus paradisi* Macf) sobre Características Fisicoquímicas de un Agente Encapsulante.
2. Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos (*Citrus paradisi* Macf) Sobre Características Bromatológicas del Zumo de Lima (*Citrus latifolia* Tanaka) Encapsulado
3. Caracterización del Zumo de Lima (*Citrus latifolia* Tanaka) Encapsulado a Diferentes Temperaturas de Entrada, Presiones de Aire de Atomización y Caudales de Alimentación en Mesocarpo de Pomelo (*Citrus paradisi* Macf) Pulverizado como Ayudante de Secado
4. Evaluación de la estabilidad de los polvos de zumo de lima (*Citrus latifolia* Tanaka) encapsulados en pulverizado de mesocarpo de pomelos (*Citrus paradisi* Macf), durante el almacenamiento a diferentes temperaturas
5. Evaluación de inclusiones de zumo de lima (*Citrus latifolia* Tanaka) encapsulado en pulverizado de mesocarpio de pomelos (*Citrus paradisi* Macf) en néctar de lechosa y sus efectos sobre características de calidad

Los análisis fueron realizados en el Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universidad ISA (Santiago, República Dominicana), Florida Center for Analytical

Electron Microscopy (FCAEM) de la Universidad Internacional de la Florida y en el Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica (SAIT) de la Universidad Politécnica de Cartagena.

**Figura 1-**Diseño Experimental de los capítulos de la tesis doctoral



**CAPÍTULOS**

**-Capítulo 1**

***Efecto de dos Métodos de Deshidratación y dos Grosos de Lámina de Mesocarpo de Pomelos (Citrus paradisi Macf) sobre Características Fisicoquímicas de un Agente Encapsulante***

## 1. Introducción

El pomelo, toronja o grapefruit (*Citrus paradisi* Macf), es una fruta de forma globular achatada, de color amarillo claro y grandes dimensiones, con aroma muy grato y sabor refrescante ligeramente amargo, que pertenece a la familia de las Rutáceas. Consta de: exocarpo, mesocarpo y endocarpo (FAO-IICA, 2006).

Según las estadísticas de la FAO (2014), en República Dominicana la producción de pomelo en el año 2011 fue de 13.689.000 kg y para el 2012 fue de 14.500.000 kg. Además, las estadísticas del Ministerio de Agricultura de la República Dominicana (2014), indican que el área sembrada de este fruto aumentó de 56,75 Ha en 2012 a 459,81 Ha en 2013.

Los pomelos frescos se consumen en las comidas, de entrada o de postre. La industria aprovecha un 20% de su producción, principalmente en la elaboración de zumos y mermeladas (CVCA, 2012). También se procesa para obtener productos como jugo de pomelo natural, concentrado congelado de pomelo, refrescos de pomelo y refrescos de frutas con pomelo como ingrediente. La cáscara se aprovecha para la extracción de aceites esenciales muy utilizados en perfumería y en la elaboración de concentrados para animales (FAO-IICA, 2006).

El material de desecho de los cítricos está constituido principalmente por cáscaras, semillas y membranas capilares a partir de los cuales se pueden obtener harinas, pectina, aceites esenciales, pigmentos y productos cítricos especiales (Rincón *et al.*, 2005). Según Moheno (2013), las cáscaras de pomelo representan entre el 45 y 60 % del peso de la fruta, son utilizadas en la alimentación de ganado (pellets) pero mayoritariamente son desechadas, desaprovechando así el valor que éstas tienen como fuente potencial de productos de valor agregado. Además, los precios de los pellets no son lo suficientemente altos para proporcionar rentabilidad al proceso de aprovechamiento, de manera que el desarrollo de productos alternativos de mayor valor agregado beneficiaría a los procesadores de cítricos.

Los subproductos (desechos) que se generan del procesamiento industrial de los cítricos (cáscaras y semillas), constituyen un problema de disposición si no van a ser

usados para la alimentación animal, sin embargo, el mesocarpo del pomelo tiene un gran valor nutricional y podría emplearse para la obtención de agentes encapsulantes.

Un material de recubrimiento o agente encapsulante es un compuesto que forma una capa delgada (orgánica, inorgánica o ambas) sobre una superficie. Los cobertores orgánicos en general contienen pigmentos, extensores y otros aditivos como catalizadores, absorbentes, modificadores y antioxidantes. Se utilizan para proteger una sustancia o un objeto de la humedad atmosférica, luz ultravioleta, etc. El material cobertor posee una “funcionalidad” adicional, como ser autorregenerativo, autolimpiante, percepción suave, antibacteriano, anticorrosivo y otros (Castañeta *et al.*, 2011). No existen materiales de recubrimiento que proporcionen una encapsulación perfecta, pues pueden comportarse de diferente manera en función de la técnica utilizada (González, 2011).

La limitada disponibilidad de los materiales empleados en las industrias como agentes encapsulantes y el hecho de que los mismos posean costo elevado, evidencia la necesidad de identificar fuentes no convencionales de esas biomoléculas o similares, con características funcionales análogas. Esto, aunado al no aprovechamiento de los subproductos generados en el procesamiento industrial de los cítricos, constituyó la justificación del desarrollo del presente estudio, en el cual se propuso la recuperación del mesocarpo del pomelo (producto de desecho) para la obtención de un agente encapsulante de bajo costo que pueda ser industrializado y comercializado en un futuro, como alternativa a los existentes.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1- Tipo de Estudio y Diseño Experimental

Esta investigación fue experimental. Para su realización se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, con dos factores: M= método de deshidratación y G= grosor de la lámina de mesocarpo a deshidratar. El factor M se conformó por 2 niveles (deshidratador de bandejas y horno microondas) y el factor G, por 2 niveles (2 mm y 4 mm). En total fueron 4 tratamientos y cada uno fue realizado 3 veces, resultando 12 unidades experimentales. Cada unidad experimental se compuso por 11 unidades de pomelos. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + G_j + (MG)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = Respuesta esperada

$\mu$  = Media General

$M_i$  = Efecto del Método de Deshidratación (i=horno microondas y deshidratador de bandejas)

$G_j$  = Efecto del Grosor de la lámina de mesocarpo a deshidratar (2 mm y 4 mm)

$(MG)_{ij}$  = Efecto de la interacción del Método de Deshidratación y el Grosor de la lámina de mesocarpo

$\epsilon_{ijk}$  = Error experimental

### 2.2 Tratamientos Evaluados

La **Tabla 1** muestra los tratamientos estudiados y su codificación.

**Tabla 1.** Tratamientos evaluados en esta investigación.

Método de Deshidratación	Grosor de la lámina de Mesocarpo	
	2 mm	4 mm
Horno Microondas (HM)	HM2	HM4
Deshidratador Bandejas (DB)	DB2	DB4

### 2.3 Variables Evaluadas

#### - Rendimiento

Se evaluó aplicando el siguiente cálculo:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

#### - Pérdida de agua (% de deshidratación)

La pérdida de agua se evaluó aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Deshidratación} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

#### - pH

Esta determinación se realizó por potenciometría, a una temperatura de 20°C mediante el uso de un pH-metro. Se tomó 1g del agente encapsulante, se disolvió en 20 ml de agua destilada, se le introdujo el electrodo y se realizó la lectura.

#### - Acidez titulable

Se determinó utilizando el método volumétrico, que consiste en diluir 0,55g del agente encapsulante en 50 ml de agua destilada, adicionar 10 gotas de disolución de fenoftaleína (al 1% en alcohol) y titular con NaOH 0,1N hasta un color rosa persistente. Se realizó el cálculo de acuerdo a la fórmula que se presenta a continuación y el resultado se expresó como porcentaje de ácido cítrico en peso.

$$\% \text{ Acidez} = \left( \frac{A \times B \times C \times D}{E} \right) 100$$

A= mililitros de NaOH gastados

B= normalidad del álcali usado

C= peso miliequivalente del ácido cítrico (0,06404)

D=factor de dilución

E= peso de la muestra

**- Actividad de agua**

Se determinó mediante un medidor Rotronic, colocando 1g de agente encapsulante en la celda del aparato y esperando a que se estabilice la lectura.

**- Viscosidad**

Se siguió el método del International Starch Institute (ISI, 2002); se pesaron 25 g de muestra en base seca, se disolvieron en agua destilada y se completaron a 500 ml. Se colocó la suspensión en un vaso de precipitado de 1000 ml y se calentó con agitación hasta ebullición (aproximadamente 15 minutos). Se enfrió el gel hasta 25 °C. Se midió la viscosidad a 25°C, en un viscosímetro Brookfield, modelo RVDVE115, con una velocidad de 10 RPM.

**- Densidad aparente**

Se procedió según la metodología descrita por Smith (1967), que consiste en pesar una probeta graduada de 250 ml vacía y adicionar cuidadosamente con una espátula la muestra de agente encapsulante a la probeta por medio de un embudo hasta que el volumen total sea libremente completado.

$$\text{Densidad aparente (g/ml)} = \frac{[(\text{peso probeta vacía} + \text{agente encapsulante (g)}) - \text{peso probeta vacía (g)}]}{250\text{ml}}$$

**- Temperatura de gelatinización**

Se empleó la técnica de Grace (1977). Se pesaron 10g de muestra (base seca), se disolvieron en agua destilada y se completaron a 100 ml. Se calentó agua en un vaso de precipitado de 250 ml a 85 °C. Se tomaron 50 ml de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 ml. Se introdujo el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C. Se agitó con el termómetro constantemente la suspensión de muestra hasta que se formó una pasta y la temperatura estuvo estable por unos segundos. Se leyó la temperatura de gelatinización directamente en el termómetro.

**- Índice de absorción de agua**

Esta determinación se efectuó de acuerdo a la técnica de Anderson *et al.*, (1969), que establece el pesado de tubos de centrifuga secos a 60 °C, el pesado en los tubos 1,20 g de muestra (base seca), el agregado de exactamente 30 ml de agua

destilada precalentada a 60 °C y el agitado (sin excederse). Luego se colocaron en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; se agitó la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento. Se centrifugó a temperatura ambiente a 4900 RPM durante 30 minutos. Se decantó el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y se midió el volumen. Se tomaron 10 ml del sobrenadante y se colocaron en un vaso de precipitado de 50 ml (previamente pesado). Se secó el sobrenadante en un horno durante 18 horas a 70 °C. Se pesó el tubo de centrífuga con el gel y luego el vaso de precipitado con los insolubles. Se determinó mediante el siguiente cálculo:

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) bs}}$$

#### **- Poder de hinchamiento**

Se determinó empleando la metodología de Anderson *et al.*, (1969) y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso muestra (g) - Peso seco sobrenadante (g)}}$$

#### **2.4 Proceso para la Obtención del Agente Encapsulante a partir de Mesocarpo de Pomelo**

El proceso general seguido para obtener el encapsulante se presenta en la **Figura 1**. Se compraron 150 pomelos en un campo de Loma de Cabrera, provincia de Dajabón (República Dominicana), desde donde fueron trasladadas a la planta de procesamiento de alimentos de la Universidad ISA.

#### **- Tratamiento HM2 (mesocarpo con 2 mm de espesor secado en horno microondas)**

Se tomaron 11 pomelos y se pesaron, posteriormente fueron descargadas en tinajas de lavado llenas de agua para evitar daños mecánicos debido a la caída. Recibieron una desinfección con solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm. Se dejaron escurrir durante 15 minutos, se pesaron y pelaron manualmente. El mesocarpo fue cortado con 2 mm de espesor y se llevó a un horno microondas con potencia de entrada de 1050 W y de salida de 700 W y una frecuencia de 2450 MHz, hasta peso constante. Luego se pulverizó en una licuadora, se tamizó (60 mesh) y se empacó en bolsas zip pack de plástico transparente, hasta su evaluación.

**- Tratamiento HM4 (mesocarpio con 4 mm de espesor secado en horno microondas)**

Para la adecuación de este tratamiento se procedió igual que en HM2, sólo que el mesocarpio fue cortado con un espesor de 4mm.

**- Tratamiento DB2 (mesocarpio con 2 mm de espesor secado en deshidratador de bandejas)**

Este tratamiento fue preparado de la misma forma que HM2, con la variación de que el mesocarpio se llevó a un deshidratador de bandejas a 155°F (68,33°C) hasta peso constante, en lugar de a un horno microondas.

**- Tratamiento DB4 (mesocarpio con 4 mm de espesor secado en deshidratador de bandejas)**

Se preparó igual que DB2, pero el mesocarpio fue cortado con 4 mm de espesor.



**Figura 1.** Proceso seguido para la obtención del agente encapsulante a partir de Mesocarpio de *C. paradisi* Macf.

## 2.5 Análisis Estadístico

Todos los experimentos fueron realizados 3 veces y los resultados fueron expresados como medias aritméticas  $\pm$  Desviación Estándar. Los datos obtenidos fueron evaluados mediante el análisis de varianza utilizando el paquete estadístico Statistix para Windows (versión 8.0, Analytical Software, USA). Las medias fueron separadas utilizando la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 5%.

### 3. Resultados y Discusiones

#### **3.1. Efecto del Método de Deshidratación sobre Características Fisicoquímicas del Agente Encapsulante Obtenido del Mesocarpo de Pomelo**

En la **Tabla 2** se presentan los resultados de las evaluaciones fisicoquímicas del agente encapsulante obtenido del mesocarpo de pomelo, en relación al método de deshidratación utilizado. Según dicha tabla, este factor afecta a 6 de las 10 variables estudiadas: pH, viscosidad, densidad aparente, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento (PH); hecho confirmado por Rodríguez-Sandoval *et al.*, (2012), que afirman que el procesamiento afecta las propiedades funcionales de las harinas y almidones.

Los resultados obtenidos pudieran deberse además a que en el interior de los alimentos, se producen gradientes de temperatura que ocasionan la difusión del agua y provocan cambios en las propiedades de éstos. Las ondas electromagnéticas son responsables de la generación de calor, la transferencia de humedad y de los cambios bioquímicos y transformaciones físicas que se producen en el alimento (Rocca, 2010).

Los tratamientos deshidratados en el horno microondas resultaron en un pH menor y una temperatura de gelatinización mayor, lo cual implicó viscosidad, IAA y PH menores. Estos hallazgos pueden ser explicados por el argumento de Paredes-López (1994), quienes explican que el pH del sistema afecta la velocidad e intensidad del hinchamiento de los gránulos de almidón. A pH alcalino se reducen considerablemente la temperatura y tiempo requeridos para el hinchamiento de los gránulos, mientras que en condiciones más ácidas puede favorecer la hidrólisis del enlace glicosídico del almidón con la consecuente pérdida de viscosidad de sus suspensiones.

Por otro lado, Castro (2014), explica que, a mayor temperatura de gelatinización, menor será la viscosidad del producto, pues la desintegración del gránulo hinchado será más grande a mayor tiempo de cocimiento por acción de la temperatura. Rodríguez-Sandoval *et al.*, (2012), indican que mientras más alto es el índice de hinchamiento de los gránulos de almidón, más viscosa resulta la masa.

**Tabla 2.** Resultados para las Características Fisicoquímicas del Agente Encapsulante en Relación al Método de Deshidratación

Variables Método de Deshidratación	Rendimiento (%)	Deshidratación (%)	pH	Acidez Titulable (%)	Aw	Viscosidad (mPa.s)	Densidad Aparente (g/ml)	Temperatura Gelatinización (°C)	Índice de Absorción de Agua (IAA)	Poder de Hinchamiento (PH)
Horno Microondas	21,222 <sup>a</sup>	78,7780 <sup>a</sup>	4,850 <sup>b</sup>	0,0217 <sup>a</sup>	0,3595 <sup>a</sup>	624,17 <sup>b</sup>	0,3688 <sup>a</sup>	77,917 <sup>a</sup>	7,3883 <sup>b</sup>	8,483 <sup>b</sup>
Deshidratador de Bandejas	21,283 <sup>a</sup>	78,7170 <sup>a</sup>	5,333 <sup>a</sup>	0,0225 <sup>a</sup>	0,3890 <sup>a</sup>	806,00 <sup>a</sup>	0,2388 <sup>b</sup>	25,667 <sup>b</sup>	9,5700 <sup>a</sup>	11,197 <sup>a</sup>

*Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados.*

*Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 3$ )  $\pm$  DE.*

Los valores de rendimiento hallados en esta investigación son menores a los obtenidos por Gorosquer (2004), para almidón de plátano (63%), son similares a los encontrados por Alarcón (2010) para almidón de malanga (21%) y mayores a los reportados por López y Malpica (2014), para almidón de malanga (18%) y Villacrés y Espín (1999), para almidón de papa (18%).

Los porcentajes de deshidratación de este estudio son más bajos que los reportados por Valencia *et al.*, (2011), para láminas de manzana de 2mm de grosor deshidratadas con microondas y mediante secado convectivo, más de 80% en ambos casos.

Respecto al pH de los productos evaluados, resultó menor que los encontrados en las literaturas y diversas fichas técnicas para el Carboximetil Celulosa (CMC) y goma guar, que van de 6,5 a 8,5 y de 6 a 7, respectivamente. Sin embargo, son mayores a los recomendados por Aguilar (2007), para materiales encapsulantes (pH de 3-4).

No se hallaron datos sobre acidez titulable ni actividad de agua para ningún producto que pueda utilizarse como agente encapsulante, por lo tanto, no se comparan los resultados obtenidos en esta investigación para dichas variables.

En las literaturas consultadas se encontró que para un material ser considerado buen agente encapsulante es recomendable que sea de baja viscosidad, no obstante, no se especifica cuál es la viscosidad ideal. Revisando diversas literaturas y fichas técnicas se encontró que el CMC y goma guar, tienen una viscosidad de 2000 a 3000 mPa.s y de 3000 a 5000 mPa.s, respectivamente, siendo estos mayores a los obtenidos en los productos de esta investigación.

En cuanto a la densidad aparente, los agentes encapsulantes elaborados poseen valores menores que el CMC (0,7-0,9 g/ml) y goma guar (0,8-1,0 g/ml).

Para la temperatura de gelatinización, Taggar (2004), reporta un rango de 58-64°C en almidón de trigo y de 59-68°C en almidón de papa. Mientras que Meneses *et al.*, (2008), obtuvieron 60-65°C para almidón de papa y 75-80°C para almidón de maíz.

Respecto al IAA, Taggar (2004), indica valores de 1,92 en almidón de trigo y de 4,48 en almidón de papa, siendo menores que los hallados en los agentes obtenidos del mesocarpo de pomelo. El poder de hinchamiento (PH) de los agentes encapsulantes evaluados es mayor que el reportado por Taggar (2004), para almidón de trigo (1,96) y almidón de papa (4,84).

De acuerdo a las informaciones presentadas en la **Tabla 2**, el método de deshidratación con horno de bandejas resulta en un producto con mejores características para ser utilizado como agente encapsulante respecto al método de microondas, a excepción de que la viscosidad es menor. Sin embargo, como no se especifica en la literatura consultada el valor o rango óptimo para este parámetro, probablemente la viscosidad obtenida en el producto deshidratado mediante horno de bandejas sea aceptable.

### ***3.2. Efecto del Grosor del Mesocarpo sobre Características Fisicoquímicas del Agente Encapsulante obtenido del Mesocarpo de Pomelo***

Como puede observarse en la **Tabla 3**, el grosor del mesocarpo sólo tiene efecto sobre el porcentaje de rendimiento, porcentaje de deshidratación y la viscosidad del agente encapsulante obtenido. Las demás variables evaluadas no fueron afectadas por este factor.

Los resultados obtenidos para el porcentaje de deshidratación y de rendimiento son coherentes con el área de exposición de las láminas de mesocarpo al tratamiento térmico, a mayor grosor de la lámina, menor área de exposición y por consiguiente menor porcentaje de deshidratación o pérdida de agua y mayor rendimiento. López y Malpica (2014), afirman que el rendimiento de los almidones puede verse afectado por el sistema de producción (artesanal, semi-mecanizado o mecanizado).

Según el factor grosor de la lámina de mesocarpo, los agentes obtenidos por ambos grosores estudiados pueden ser empleados en encapsulación, aunque al deshidratar algún producto es preferible acondicionarlo de forma que tenga mayor superficie expuesta al tratamiento al cual será sometido (térmico o no). Además, para los fines de emplearse como agente encapsulante, el menor grosor de lámina de

**Tabla 3.-**Resultados para las Características Fisicoquímicas del Agente Encapsulante en Relación al Grosor del Mesocarpo.

<b>Variables</b> <b>Grosor de Mesocarpo</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b>Deshidratación (%)</b>	<b>pH</b>	<b>Acidez Titulable (%)</b>	<b>Aw</b>	<b>Viscosidad (mPa.s)</b>	<b>Densidad Aparente (g/ml)</b>	<b>Temperatura Gelatinización (°C)</b>	<b>Índice de Absorción de Agua (IAA)</b>	<b>Poder de Hinchamiento (PH)</b>
<b>2 mm</b>	19,842 <sup>b</sup>	80,1580 <sup>a</sup>	5,0833 <sup>a</sup>	0,0222 <sup>a</sup>	0,3715 <sup>a</sup>	594,00 <sup>b</sup>	0,3055 <sup>a</sup>	52,133 <sup>a</sup>	8,5417 <sup>a</sup>	10,088 <sup>a</sup>
<b>4 mm</b>	22,663 <sup>a</sup>	77,3370 <sup>b</sup>	5,1000 <sup>a</sup>	0,0220 <sup>a</sup>	0,3770 <sup>a</sup>	836,17 <sup>a</sup>	0,3022 <sup>a</sup>	51,450 <sup>a</sup>	8,4167 <sup>a</sup>	9,592 <sup>a</sup>

*Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P>0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 3$ )  $\pm$  DE.*

mesocarpo resultó en una viscosidad también menor, lo cual es deseable, por lo tanto, se recomienda el tratamiento con 2 mm como mejor opción.

### **3.3. Efecto de la Interacción Grosor del Mesocarpo \* Método de Deshidratación sobre Características Fisicoquímicas del Agente Encapsulante Obtenido del Mesocarpo de Pomelo**

La interacción del grosor del mesocarpo con el método de deshidratación tiene efecto sobre el pH, viscosidad, densidad aparente, temperatura de gelatinización, índice absorción de agua y poder de hinchamiento de los agentes encapsulantes evaluados (**Tabla 4**).

Según Valencia *et al.*, (2011), la tecnología de secado es responsable de los procesos de deshidratación para la conservación, pero hay que considerar la geometría del producto y el tipo de secador. Reportan valores de actividad de agua de 0,602 en láminas de manzana de 2mm de grosor deshidratadas con microondas bajo las mismas condiciones de esta investigación y de 0,418 para dicho producto deshidratado por método convectivo a 60°C; ambos valores mayores a los determinados en este estudio.

Rocca (2010), explica que el tamaño, la forma y las propiedades de los alimentos afectan la distribución espacial de la absorción de las microondas.

González y Pacheco (2006), obtuvieron valores de temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento de 77°C, 13,42% y 4,32%, respectivamente, en harina de banana verde (*Musa AAA*) secada en horno a 85°C, para elaboración de geles.

Rodríguez-Sandoval *et al.*, (2006), encontraron un valor de IAA de 9,92 en harina de yuca obtenida de parénquima, similar al obtenido para los tratamientos deshidratados en horno de bandejas de este estudio.

Las diferencias en el poder de hinchamiento pueden deberse a la constitución fisicoquímica particular de cada cultivo, a las diferencias estructurales y morfológicas de sus almidones y a que los almidones se hinchan dependiendo de su origen botánico (Lii *et al.*, 2003).

**Tabla 4.-**Resultados para las Características Físicoquímicas del Agente Encapsulante en Relación a la interacción Grosor del Mesocarpo \* Método de Deshidratación.

<b>Variables</b> <b>Tratamientos</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b>Deshidratación (%)</b>	<b>pH</b>	<b>Acidez Titulable (%)</b>	<b>Aw</b>	<b>Viscosidad (mPa,s)</b>	<b>Densidad Aparente (g/ml)</b>	<b>Temperatura Gelatinización (°C)</b>	<b>Índice de Absorción de Agua (IAA)</b>	<b>Poder de Hinchamiento (PH)</b>
<b>HM2</b>	20,090 <sup>a</sup>	79,910 <sup>a</sup>	5,000 <sup>ab</sup>	0,0200 <sup>a</sup>	0,3447 <sup>a</sup>	564,670 <sup>c</sup>	0,3777 <sup>a</sup>	78,733 <sup>a</sup>	7,7200 <sup>b</sup>	9,267 <sup>ab</sup>
<b>HM4</b>	22,353 <sup>a</sup>	77,647 <sup>a</sup>	4,7000 <sup>b</sup>	0,0233 <sup>a</sup>	0,3743 <sup>a</sup>	683,67 <sup>b</sup>	0,3600 <sup>ab</sup>	77,100 <sup>b</sup>	7,0567 <sup>b</sup>	7,700 <sup>b</sup>
<b>DB2</b>	19,593 <sup>a</sup>	80,407 <sup>a</sup>	5,1667 <sup>ab</sup>	0,0243 <sup>a</sup>	0,3983 <sup>a</sup>	623,33 <sup>bc</sup>	0,2333 <sup>b</sup>	25,533 <sup>c</sup>	9,3633 <sup>a</sup>	10,910 <sup>a</sup>
<b>DB4</b>	22,973 <sup>a</sup>	77,027 <sup>a</sup>	5,5000 <sup>a</sup>	0,0207 <sup>a</sup>	0,3797 <sup>a</sup>	988,67 <sup>a</sup>	0,2443 <sup>b</sup>	25,800 <sup>c</sup>	9,7767 <sup>a</sup>	11,483 <sup>a</sup>

Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 3$ )  $\pm$  DE.

De acuerdo a los resultados obtenidos y, como se ha explicado de manera individual para cada factor estudiado, el tratamiento de esta investigación que presenta las mejores características para ser considerado un agente encapsulante es el HB2.

#### **4. Conclusiones**

Los métodos de deshidratación utilizados en esta investigación afectan a 6 de las 10 variables estudiadas en el agente encapsulante obtenido de mesocarpo de pomelo: pH, viscosidad, densidad aparente, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua y poder de hinchamiento.

El grosor de la lámina de mesocarpo estudiado sólo tiene efecto sobre el porcentaje de rendimiento, porcentaje de deshidratación y la viscosidad del agente encapsulante de esta investigación.

La interacción del grosor del mesocarpo con el método de deshidratación afecta al pH, viscosidad, densidad aparente, temperatura de gelatinización, índice absorción de agua y poder de hinchamiento de los agentes encapsulantes evaluados.

El agente encapsulante deshidratado en horno de bandejas presentó mejor apariencia y mejores características fisicoquímicas para los fines buscados en esta investigación; mientras que el agente deshidratado con horno microondas tuvo un calentamiento no uniforme y presentó una costra en la superficie que le otorga una coloración con tonalidad de color chocolate tenue, no recomendable para ser utilizado como agente encapsulante, cuyo color debe ser claro.

El tratamiento de esta investigación que presenta las mejores características para ser considerado un agente encapsulante es el HB2 (láminas de mesocarpo de pomelos de 2 mm deshidratadas en horno de bandejas).

## 5. Referencias

1. Aguilar, C. 2007. Optimización del proceso de modificación del almidón de maíz ceroso por extrusión y el uso de mezclas de almidones modificados con mucílago de nopal para la encapsulación de aceite esencial de naranja empleando el secado por aspersión. Tesis de grado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
2. Alarcón, A. 2010. Producción de Bioetanol con *Zymomonas mobilis*. Instituto Politécnico Nacional. México D.F. 42.
3. Anderson, R., Conway, H., Pheiser, V. y Griffin, E. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*; 14: 4-12.
4. Castañeta, H., Gemio, R., Yapu, W. y Nogales, J. 2011. Microencapsulación, un Método para la Conservación de Propiedades Fisicoquímicas y Biológicas de Sustancias Químicas. *Revista Boliviana de Química*. 28(2), 135-140.
5. Castro, V. 2014. Almidón. Composición Bioquímica de Productos Agroindustriales. Universidad Nacional del Santa. Facultad de Ingeniería E.A.P. Agroindustrial.
6. Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (CVCA). 2012. Monografía de la Toronja. Consulta: 2. <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVO SDIFUSION/MONOGRAFIA%20TORONJA2010.PDF>
7. FAO. 2014. FAOSTAT. Food and Drug Organization of the United Nations. [http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/AS/\\*/S](http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/AS/*/S)
8. FAO-IICA. 2006. Toronja (*Citrus paradisi*). Fichas técnicas productos frescos y procesados. [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/TORONJA.HTM](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/TORONJA.HTM)
9. González, D. 2011. Microencapsulación de Aceite de Oliva y Nuez. Instituto Tecnológico Agroalimentario de Extremadura.
10. González, B. y Pacheco, E. 2006. Propiedades Físicas y Reológicas de la Harina de Banana Verde (*Musa AAA*) en la Elaboración de Geles de Piña (*Ananas comosus* L. Merr.). *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 32:27-40.
11. Gorosquer, E. 2004. Rendimiento del Proceso de Extracción de Almidón a partir de Frutos de Plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta Piloto. *ACV*. 55 (1), 86-90.
12. Grace, M. 1977. Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. 116 pp.
13. International Starch Institute (ISI). 2002. Determination of viscosity of starch by Brookfield. ISI 17-1e. In: Laboratory methods. Science Park, Aarhus, Dinamarca.
14. Lii, C., Tomasik, P., Hung, W., Yen, M. y Lai, M. 2003. Granular starches as dietary fibre and natural microcapsules. *Int. J. Food Sci. Technol.* 38: 677-685.

15. López, L. y Malpica, D. 2014. Evaluación de las Propiedades Funcionales de los Hidrolizados Enzimáticos de Dos Almidones Obtenidos a Partir de Especies Promisorias. Tesis de grado. Fundación Universitaria Agraria de Colombia.
16. Meneses, J., Corrales, C. y Valencia, M. 2008. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca. *Revista EIA*, (8), 57-67.
17. Ministerio de Agricultura de la República Dominicana. 2014. Superficie Sembrada, Cosechada y Producción Agropecuaria, 2002-2013. <http://www.agricultura.gob.do/estadisticas/siembra-cosecha-y-produccion-agropecuaria/>
18. Moheno, M. 2013. Uso de un Hidrolizado de Cáscaras de Naranja-Toronja y dos Cepas de Levadura para la Obtención de Bioetanol. Tesis de grado. Universidad Veracruzana, Región Xalapa.
19. Paredes-López, O. 1994. *Amaranth Biology, Chemistry, and Technology*. CRC. Press. Irupato. 107-124.
20. Rincón, A., Vásquez, A. y Padilla, F. 2005. Composición Química y Compuestos Bioactivos de las Harinas de Cáscaras de Naranja (*Citrus sinensis*), Mandarina (*Citrus reticulata*) y Toronja (*Citrus paradisi*) Cultivadas en Venezuela. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 55. No.3.
21. Rocca, P. 2010. Secado de Alimentos por Métodos Combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Tesis de Maestría. Buenos Aires.
22. Rodríguez-Sandoval, E., Fernández, A., Alonso, A. y Ospina, B. 2006. Reología de Suspensiones Preparadas con Harina Precocida de Yuca. *Ingeniería & Desarrollo*. Universidad del Norte. 19: 17-30. ISSN: 0122-3461
23. Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A. y Sandoval, G. 2012. Influencia de la Sustitución Parcial de la Harina de Trigo por Harina de Quinoa y Papa en las Propiedades Termomecánicas y de Panificación de Masas. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient.* 15(1): 199 – 207.
24. Smith, R. 1967. Characterization and analysis of starches. In Whistler, R.L. & Paschall, E. *Starch: Chemistry and Technology*. Vol II. Industrial Aspects. New York, Academia Press. p 593.
25. Taggar, P. 2004. Starch as an ingredient: manufacture and applications. In: Eliasson, A – C. *Starch in Food. Structure, function and applications*. pp. 363-392. Cambridge, UK: Woodhead publishing.
26. Valencia, C., Rodríguez, H. y Giraldo, P. 2011. Cinética de la Deshidratación y Control de la Oxidación en Manzana *Granny smith*, mediante la Aplicación de Diferentes Métodos de Secado. *Revista Tumbaga* 6, 7-16.
27. Villacrés, E. y Espín, S. 1999. Evaluación y Rendimiento, Características y Propiedades de Almidón de Algunas Raíces y Tubérculos Andinos. *Avances en la Investigación Tomo I*. Centro Internacional de la Papa. Lima-Perú. P 25-35.

**-Capítulo 2**

***Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos (Citrus paradisi Macf) Sobre Características Bromatológicas del Zumo de Lima (Citrus latifolia Tanaka) Encapsulado***

## 1. Introducción

Un agente encapsulante, material de recubrimiento o ayudante de secado es un compuesto que forma una capa delgada sobre una superficie. Se utilizan para proteger una sustancia o un objeto de la humedad atmosférica, luz ultravioleta, entre otros (Castañeta *et al.*, 2011).

No existen materiales de recubrimiento que proporcionen una encapsulación perfecta (retención de volátiles, protección contra la oxidación, buenas propiedades emulsificantes). El mismo agente encapsulante puede comportarse de maneras diferentes en función de la técnica utilizada (González, 2011). Sin embargo, la solubilidad, hidrofobicidad, permeabilidad y otras propiedades del material utilizado como agente de recubrimiento, tienen influencia preponderante en las características del producto final (Lozano, 2009).

Según Arellano (2011), existe una amplia variedad de agentes de recubrimiento y entre los más utilizados en la industria alimentaria se pueden mencionar: polisacáridos (almidón, maltodextrina, ciclodextrinas, carboximetilcelulosa, goma arábica, alginato de sodio), lípidos (ceras, grasas) y proteínas (gelatina, proteína de soya, caseinatos, suero de leche, zeína) (Gouin, 2004). Beristain (1996) indica que cada uno de estos materiales tiene sus limitaciones: los almidones modificados químicamente tienen una excelente retención de volátiles durante el secado, pero una protección pobre a la oxidación; ocurre lo contrario con los almidones parcialmente hidrolizados (maltodextrinas, jarabe de sólidos de glucosa y otros), además estos no poseen buenas propiedades emulsificantes. La goma arábica tiene excelentes propiedades emulsificantes y buena retención de volátiles; sin embargo, proporciona limitada protección en contra de la oxidación del encapsulado y en los últimos años su costo y escasa disponibilidad han sido limitantes para su uso.

En estado fresco, el mesocarpio de los cítricos contiene de 75 a 80% de agua, mientras que sus principales componentes, calculados en relación a la materia seca, son el 44% de azúcares, 33% de celulosa y 20% de sustancias pépticas. Además,

contiene flavonoides, aminoácidos y vitaminas (Fennema, 1993). Sin embargo, este material es desperdiciado en el procesamiento de pomelo.

La limitada disponibilidad de materiales empleados como agentes encapsulantes y el hecho de que los mismos posean costo elevado, evidencian la necesidad de identificar fuentes no convencionales de biomoléculas o similares, con características funcionales análogas a los existentes. Esto, aunado al no aprovechamiento de los subproductos generados en el procesamiento industrial de los cítricos, motivó el desarrollo del estudio realizado por Alcántara *et al.*, (2014), en el que se obtuvo y caracterizó un agente encapsulante a partir del mesocarpio de pomelo.

Como una continuidad al mencionado estudio, en la presente investigación se evaluó el empleo del agente encapsulante (obtenido del mesocarpio de pomelo por Alcántara *et al.*, 2014), en el secado por aspersión del jugo de lima persa, como alternativa a los encapsulantes existentes en el mercado, para así aprovechar un subproducto generado en el procesamiento industrial de pomelo, agregarle valor y posibilitar la industrialización y comercialización de un producto alternativo más duradero y que conserve al máximo las propiedades del jugo encapsulado.

Se evaluaron diferentes concentraciones de encapsulante para determinar cuál surtía mejor efecto sobre el jugo encapsulado.

Los cítricos presentan estacionalidad en su producción, reflejándose en el comportamiento de los precios. Se cosechan después de la maduración de sus frutos ya que, como toda fruta no climatérica, sólo se ponen blandos si se colectan verdes. La corta vida de anaquel de estas especies ocasiona pérdidas y puede influir negativamente en el comercio y en la confianza de los consumidores (Alcántara y Tejada, 2012).

Se realizó la deshidratación del jugo de lima persa debido a sus características nutritivas, corta vida de anaquel y variabilidad en el comportamiento del precio, dada la estacionalidad en la producción de la fruta.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1- Tipo de Estudio y Diseño Experimental

Esta investigación fue experimental. Se utilizó un diseño completamente al azar, evaluando el efecto de 5 concentraciones de agente encapsulante de pomelos (0,4; 0,8; 1,2; 1,6 y 2,0 %), sobre características fisicoquímicas, nutricionales, componentes bioactivos, el rendimiento y la temperatura de transición vítrea del zumo de lima encapsulado. Se elaboró un testigo utilizando maltodextrina DE-10. Cada experimento y testigo fue realizado 3 veces, resultando 18 unidades experimentales. Se evaluó además la diferencia sensorial y la morfología de las partículas de los polvos de zumos secados por aspersión. El modelo estadístico aplicado fue:

$$Y_{ij} = \mu + E_i + \epsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Respuesta esperada

$\mu$  = Media General

$E_i$  = Efecto de la concentración de Encapsulante ( $i = 0,4; 0,8; 1,2; 1,6$  y  $2,0$  %)

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental.

### 2.2 Tratamientos Evaluados

La **Tabla 1** contiene los tratamientos evaluados en esta investigación y sus respectivos códigos asignados.

**Tabla 1.**-Concentraciones de Encapsulante de Utilizadas en esta investigación.

Concentraciones de Agente Encapsulante (%)	Tratamientos
0,4	T <sub>04</sub>
0,8	T <sub>08</sub>
1,2	T <sub>12</sub>
1,6	T <sub>16</sub>
2,0	T <sub>20</sub>
1,2	TM <sub>12</sub> *

T (04 08, 12, 16, 20): Encapsulante de Mesocarpio de Pomelo. \*TM<sub>12</sub>: Testigo, con maltodextrina como encapsulante

### **2.3. Proceso seguido para obtener los polvos de Zumo de Lima (*Citrus latifolia* Tanaka) Encapsulado en Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos (*Citrus paradisi* Macf)**

Se recibieron los limones en la planta de procesamiento de alimentos de la Universidad ISA y se les efectuó un pesado y una selección de acuerdo al color, tamaño y apariencia (sin defectos físicos), posteriormente fueron lavados y desinfectados utilizando agua con una concentración de 100 ppm de hipoclorito de sodio. Se dejaron escurrir durante 10 minutos. Se pesaron nuevamente, se partieron en dos mitades y se procedió a la extracción del jugo manualmente. El jugo obtenido fue filtrado utilizando un tamiz Tyler N° 32 Mesh (malla 32; contiene 32 orificios por cm; Mesh = número de alambres en una pulgada inglesa de malla=25,4).

Para cada repetición, se tomaron 2 litros de jugo recién exprimido, se adicionó 0,5 % de fosfato tricálcico como antiadherente (para evitar la pegajosidad y disminuir la higroscopicidad del producto encapsulado) y la concentración correspondiente al agente encapsulante (0,4; 0,8; 1,2; 1,6 y 2,0 % de pulverizado de mesocarpio de pomelo, 1,2 % maltodextrina de DE-10). Se mezcló en una batidora eléctrica Osterizer 4655, a velocidad máxima durante 1 minuto, se filtró en un tamiz Tyler N° 32 Mesh, para retener cualquier posible partícula y evitar obstrucciones en la aguja para atomización del deshidratador y se procedió al proceso de secado por aspersión.

Las condiciones de secado se mantuvieron constantes: temperatura del aire de entrada 135 °C, presión del aire de aspersión de 3,4 bares, soplador de aire: 4,21 Kg/cm<sup>2</sup>, caudal de alimentación: 0,850 L/h, temperatura del aire de salida 75 °C. Tamaño de partículas según boquilla de 0,7 mm.

El polvo obtenido fue empacado inmediatamente y sellado en bolsas para empaque a vacío. Se conservó a 25 °C hasta su evaluación.

## 2.4 Variables Evaluadas

### Variables Fisicoquímicas

- pH: se realizó por potenciometría, a una temperatura de 20 °C mediante el uso de un pH-metro Hach Sension<sup>+</sup> Ph1 5050t; se pesó 1 g del zumo encapsulado, se disolvió en 10 ml de agua destilada, se introdujo el electrodo en la solución y se anotó la lectura.

- Actividad de Agua (Aw): se determinó mediante un medidor Rotronic Hygro-Palm HP23, colocando 1g de zumo de lima encapsulado en la celda del aparato y esperando a que la lectura se estabilice.

- Acidez titulable: se utilizó el método 15.004 de la Asociación de Analistas Químicos Oficiales (AOAC internacional, 2000), que consiste en tomar 5 gramos de la muestra, diluirla en 50 ml de agua destilada, adicionar 2 ml de disolución de fenoftaleína (al 1 % en alcohol) y titular con NaOH 0,1N hasta un color rosa persistente. Se realizó el cálculo de acuerdo a la fórmula que se presenta a continuación y el resultado fue expresado como porcentaje de ácido cítrico en peso.

$$\% \text{ Acidez} = \left( \frac{A \times B \times C \times D}{E} \right) 100$$

A= mililitros de NaOH gastados

B= normalidad del álcali usado

C= peso equivalente del ácido cítrico (64,04)

D=factor de dilución

E= peso de la muestra

- Sólidos Solubles: se determinaron utilizando el método refractométrico 11-15 de Hart y Fisher (1971): 1 g del zumo encapsulado fue disuelto en 10 ml de agua destilada y se tomó la lectura del refractómetro ATAGO (con escala de 0-32°Brix), previamente calibrado con agua destilada.

### Variables Nutricionales

- Humedad: se determinó mediante el método 934.01 de la AOAC internacional descrito a continuación: se pesó 7,5 g de muestra, se colocó en un horno de secado Quincy Lab Modelo-30 a 105 °C por 12 horas. Se dejó enfriar la muestra en un desecador, se pesó nuevamente y se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100$$

- Proteínas: fueron determinadas con el método 2001.11 de la AOAC internacional. Se pesó 2 g de cada muestra para su evaluación y se determinó su contenido de nitrógeno total, después de ser digeridas con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador. Se empleó una unidad de digestión y destilación Kjeldahl y luego de destilar se tituló con una solución estándar de ácido clorhídrico. Finalmente se realizaron los cálculos siguientes:

$$\text{Nitrógeno en la muestra (\%)} = 100 \left[ \left( \frac{A \times B}{C} \right) \times 0,014 \right]$$

$$\text{Proteína cruda (\%)} = \text{Nitrógeno en la muestra} \times 6,25$$

A = Ácido clorhídrico usado en la titulación (ml)

B = Normalidad del ácido estándar

C = Peso de la muestra (g)

- Cenizas: se utilizó el método 923.03 de la AOAC internacional, que consiste en colocar 3,5 g de muestra en un crisol de porcelana con peso constante y calcinarlo en una mufla a 550 °C por 12 horas; dejar enfriar, pasarlo a un desecador, pesar nuevamente el crisol con las cenizas y calcular:

$$\text{Contenido de ceniza (\%)} = 100 \left( \frac{\text{Peso muestra} - \text{Peso ceniza}}{\text{Peso muestra}} \right)$$

- Hidratos de Carbono: se determinaron aplicando el método del fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956), cuyo procedimiento es el siguiente: pesar la muestra seca,

transferirla cuantitativamente a una probeta graduada, adicionarle agua destilada y agitar. Luego, colocar la dispersión de la muestra en tubos de ensayo y adicionarle una solución acuosa de fenol al 5 %. Mezclar bien, adicionar ácido sulfúrico concentrado, homogeneizar y dejar enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, determinar la intensidad del color naranja obtenido en un colorímetro a 480 nm, frente a un blanco preparado de la misma manera utilizando agua. Calcular la cantidad de carbohidratos presentes en la muestra a partir de una curva patrón preparada con el carbohidrato de interés, tratada de la misma manera que el problema.

### **Componentes Bioactivos**

- Compuestos Fenólicos Totales: se empleó la técnica de Folin-Ciocalteu (AOCS, 1990), que consiste en preparar primero la curva de calibración utilizando una solución estándar de ácido gálico (0,1 mg/ml); luego diluir las muestras en agua destilada, adicionar el reactivo de Folin-Ciocalteu 1N. A continuación, adicionar  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20 % y dejar reposar por 2 horas. Determinar los fenoles en la muestra midiendo la absorbancia a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalentes por g de muestra.

- Contenido de Flavonoides: fue determinado con el método de Liu *et al.*, 2002: se preparó una curva de calibración utilizando una solución estándar de quercetina (0,1 mg/ml); se pesó la muestra, se disolvió en agua destilada y luego se diluyó. Después se adicionó  $\text{NaNO}_2$  al 5 % y se dejó reposar 6 minutos. Se adicionó  $\text{AlCl}_3$  al 10 % y se dejó reposar 5 minutos. Luego se adicionó  $\text{NaOH}$  1M y finalmente se completó el volumen a 2,5 ml con agua destilada. A continuación, se midió la absorbancia a 510 nm inmediatamente antes de 30 minutos. Los resultados fueron expresados en mg de quercetina equivalentes por g de muestra.

- Ácido Ascórbico: fue evaluado por el método reportado por Hung y Yen (2002). Se preparó la curva de calibración utilizando ácido ascórbico, ácido oxálico y agua destilada. Se ajustó la absorbancia a cero, se prepararon las muestras (100  $\mu\text{L}$  de extracto acuoso, con 900  $\mu\text{L}$  de 2,6 diclorofenolindofenol) y se midió la vitamina C en el espectrofotómetro HACH DR 3900, a una longitud de onda de 515 nm. Los

resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico equivalentes por gramo de muestra.

### Características Sensoriales

Las características sensoriales (color, olor y sabor) se evaluaron aplicando una prueba de comparación pareada a 10 panelistas: 5 hombres y 5 mujeres (**Anexo 1**).

Según el ICONTEC (2007), esta es una prueba en la cual se presentan las muestras en pares para la comparación y detección de diferencias sobre la base de algunos criterios definidos. Este tipo de prueba presenta la ventaja de su sencillez y menor fatiga sensorial y es recomendada para determinar si existe o no una diferencia perceptible en un atributo particular (por ejemplo, dulzor) o para comparar dos productos en términos de preferencia en el contexto de pruebas de consumidor.

El procedimiento seguido se describe a continuación:

- a) Preparación de las muestras: primero se reconstituyó el polvo adicionando 10 ml de agua destilada a 1 gramo de polvo; luego se diluyó el jugo reconstituido en una proporción 1:10 con agua destilada.
- b) Se codificaron los envases donde se presentarían las muestras a los panelistas y se colocó en cada uno 20 ml de la muestra correspondiente, a temperatura de 4 a 10 °C.
- c) La evaluación se dividió en dos sesiones: la primera tuvo lugar de 9:10 a.m. a 11:15 a.m., donde se entregó a cada panelista un total de 16 muestras codificadas. La segunda sesión fue de 2:45 p.m. a 4:50 p.m., donde a cada panelista se le entregó las 14 muestras restantes.

Las 30 muestras codificadas se entregaron en grupos de dos a cada panelista y se les pidió que indiquen si encuentran diferencia en los atributos (color, olor, sabor). El orden de entrega se muestra en la **Tabla 2**. Cada tratamiento fue comparado con el testigo de maltodextrina.

**Tabla 2.-** Orden de entrega de las muestras del zumo de lima encapsulado.

Tratamientos		Códigos Muestras	
<b>Sesión de la Mañana</b>			
T <sub>04</sub>	TM <sub>12</sub>	381	752
T <sub>04</sub>	TM <sub>12</sub>	493	465
T <sub>04</sub>	TM <sub>12</sub>	257	394
T <sub>08</sub>	TM <sub>12</sub>	164	297
T <sub>08</sub>	TM <sub>12</sub>	972	647
T <sub>08</sub>	TM <sub>12</sub>	835	229
T <sub>12</sub>	TM <sub>12</sub>	648	389
T <sub>12</sub>	TM <sub>12</sub>	746	583
<b>Sesión de la Tarde</b>			
T <sub>12</sub>	TM <sub>12</sub>	534	661
T <sub>16</sub>	TM <sub>12</sub>	379	872
T <sub>16</sub>	TM <sub>12</sub>	116	546
T <sub>16</sub>	TM <sub>12</sub>	283	951
T <sub>20</sub>	TM <sub>12</sub>	334	105
T <sub>20</sub>	TM <sub>12</sub>	823	908
T <sub>20</sub>	TM <sub>12</sub>	265	770

### Rendimiento

Se evaluó siguiendo la metodología descrita por Lozano (2009), aplicando el siguiente cálculo:

$$\text{Rendimiento en peso} = (\text{gramos obtenidos} / \text{gramos ofertados}) \times 100$$

Los valores de gramos ofertados se calcularon a partir de los gramos de material y el volumen de zumo utilizados como material de partida, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Gramos ofertados} = g \text{ material} + \text{Vol. zumo (L)} \times [\text{Zumo}] (^{\circ}\text{Brix}) \times 10$$

### Medidas de calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Estas medidas se realizaron utilizando un DSC 822e Mettler-Toledo (Barcelona, España) (**Figura 1**), equipado con accesorios de enfriamiento con nitrógeno líquido. Se pesaron 10 mg de polvo de zumo de lima encapsulado en un crisol estándar de 40 µl de aluminio (ME-51119870, Mettler-Toledo), cerrado con una tapa estándar

de aluminio (ME-51119871, Mettler-Toledo) y sellado herméticamente. Se efectuó el análisis de forma directa sin borrado de historia térmica, realizándose un barrido desde -20 hasta 120 °C, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. El punto medio de la transición vítrea se consideró como la temperatura característica de la transición.



**Figura 1.** Fotografía del Calorímetro de Barrido Diferencial -DSC 822e Mettler-Toledo

### **Análisis de la morfología de las partículas de polvo por microscopía electrónica de barrido**

Para analizar las características morfológicas de las microcápsulas y la posible agregación de las partículas de zumo de lima persa secadas por aspersión, se utilizó la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM o MEB), mediante el equipo JEOL JSM 5900LV (**Figura 2**), según la metodología descrita por Lozano (2009).

Las muestras de polvo obtenidas de cada tratamiento fueron fijadas a una cinta adhesiva de doble cara colocada en un porta muestras o cañón. Se aplicó una pequeña punta de espátula de muestra, fijándose a la cinta por medio de una pequeña presión. Posteriormente fueron metalizadas con oro durante 240 segundos, utilizando un Módulo SPI para recubrimiento por pulverización catódica (**Figura 3**), con el objetivo

de que los pequeños granos de polvo se encontraran más estables y no se movieran cuando la lente del microscopio estuviera cerca de ellos para visualizarlos, aumentar la conductividad de las muestras y obtener imágenes con buena resolución. La lente se colocó a 7 mm de distancia. Todas las imágenes se tomaron buscando un campo representativo de la muestra que estuviera lo más plano posible, operando a 5 kV y empleando una magnificación de 1000 aumentos.



**Figura 2.** Fotografía del microscopio electrónico de barrido (SEM) - JEOL JSM 5900LV



**Figura 3.** Fotografía del Módulo SPI para recubrimiento por pulverización catódica

### **Análisis del tamaño de las partículas de polvo por microscopía electrónica de barrido**

Las muestras se fijaron al portamuestras con cinta de carbono doble cara (Ted Pella Inc.) y se metalizaron con platino en un recubridor Polaron (modelo SC7640 Quorum Technologies) durante 120 s y corriente de 15 mA. Se observaron en un

microscopio electrónico de barrido (MEB) Hitachi S-3500N (Hitachi High-Technologies Corporation, Tokyo, Japan) a 15 kV de voltaje de aceleración, una distancia de trabajo que varió entre los 7- 8 mm y en condiciones de alto vacío. La señal con la que se generó imagen fue de electrones secundarios (SE Secondary Electron). Para la adquisición de las imágenes se utilizó el programa Esprit Quantax 400 (Bruker Nano GmbH, Berlin, Germany) y el Quartz PCI version 5.1 de Quartz Imaging Corporation, tanto para adquisición como para toma de medidas.

### **2.5 Análisis Estadístico**

Todos los experimentos fueron realizados 3 veces y los resultados fueron expresados como medias aritméticas  $\pm$  Desviación Estándar. Los datos obtenidos fueron evaluados mediante análisis de varianza utilizando el paquete estadístico Statistix para Windows (versión 8.0, Analytical Software, USA). Las medias fueron separadas utilizando la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 5%. Las características organolépticas fueron analizadas por medio de frecuencias. Además, se utilizó el análisis de regresión lineal para describir la relación del agente encapsulante con los datos obtenidos de las variables dependientes de este estudio.

## **3. Resultados y Discusiones**

### **3.1.- Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos Sobre Características Físicoquímicas del Zumo de Lima Encapsulado.**

En la **Tabla 3** se presentan los resultados para las características físicoquímicas del zumo de lima encapsulado. De acuerdo a estos resultados, la concentración de pulverizado de mesocarpio de pomelo empleado afecta significativamente las 4 variables estudiadas (pH, actividad de agua, acidez titulable y sólidos solubles).

Tonon *et al.*, (2008) argumentan que las características finales de un producto en polvo obtenido por secado por aspersion dependen de algunas variables de proceso, tales como las características del líquido (sólidos y viscosidad). Zapata *et al.*, (2015) complementan esta aseveración y aseguran que a través de los procesos de secado a los cuales son sometidos los jugos de frutas se generan diversos cambios físicoquímicos; indican que debido a que en el secado por aspersion interviene de

forma directa el calor, la degradación térmica es el fenómeno deteriorante más importante.

Los resultados del presente estudio se corroboran con lo observado por Mendoza (2015), quien indicó que todas sus variables respuesta presentaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con respecto al porcentaje de maltodextrina utilizada para secar por aspersión un producto a base de lactosuero y pulpa de mango; encontró que el incremento en la concentración de maltodextrina (15 a 35 %) y la temperatura de entrada del aire (120 °C a 160 °C) provocaron el aumento del rendimiento, mientras que la actividad de agua y humedad disminuyeron. Explicó que a una elevada velocidad de aspersión (26.000 rpm) y temperatura constante, el aumento en la concentración de maltodextrina conduce a la formación de partículas más grandes, con mayor área de transferencia de calor y de masa, disminuyendo la humedad del producto y su actividad de agua.

**Tabla 3.-** Resultados para las Características Físicoquímicas del Zumo de Lima Encapsulado.

Concentración Encapsulante	0,4 %	0,8 %	1,2 %	1,6 %	2 %	Testigo (1,2 % Maltodextrina)
pH	3,041±0,01 <sup>b</sup>	3,073±0,01 <sup>a</sup>	3,079±0,00 <sup>a</sup>	3,072±0,00 <sup>a</sup>	3,063±0,00 <sup>ab</sup>	3,078±0,01 <sup>a</sup>
Actividad de Agua (Aw)	0,3653±0,01 <sup>a</sup>	0,3637±0,00 <sup>a</sup>	0,3687±0,00 <sup>a</sup>	0,3330±0,01 <sup>b</sup>	0,3310±0,00 <sup>b</sup>	0,3393±0,01 <sup>b</sup>
Acidez Titulable (%)	10,12±0,22 <sup>a</sup>	9,19±0,31 <sup>b</sup>	9,07±0,16 <sup>b</sup>	9,10±0,11 <sup>b</sup>	9,00±0,06 <sup>b</sup>	8,71±0,00 <sup>b</sup>
Sólidos Solubles (°Brix)	8,60±0,53 <sup>c</sup>	10,33±0,58 <sup>ab</sup>	9,50±0,79 <sup>bc</sup>	8,93±0,15 <sup>bc</sup>	11,33±0,58 <sup>a</sup>	8,93±0,11 <sup>bc</sup>

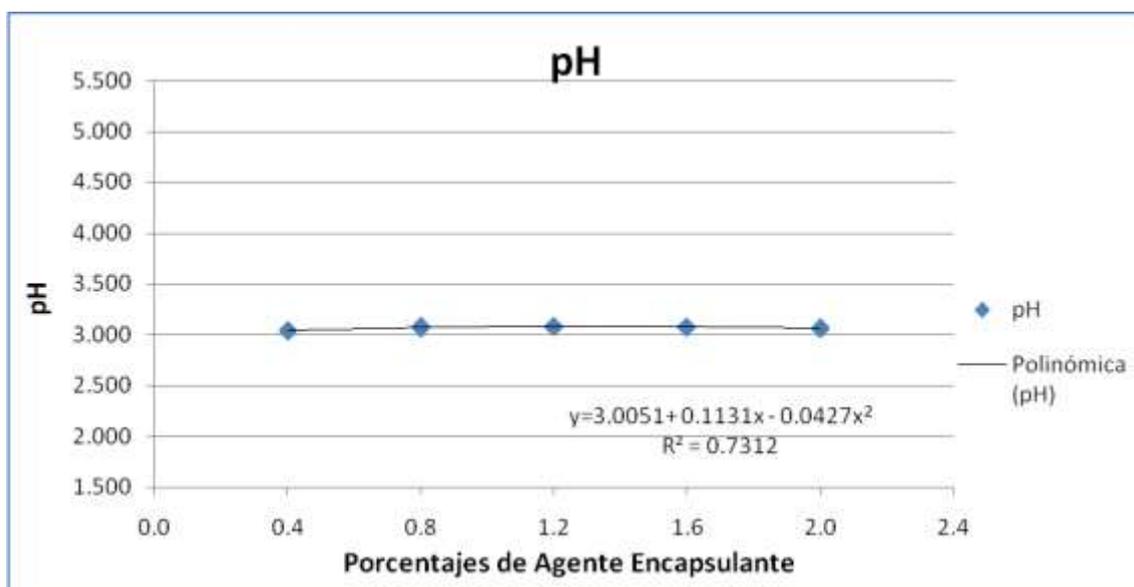
Letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los valores colocados después del símbolo  $\pm$  indican desviación estándar.

Los valores medios del pH y acidez titulable de los tratamientos evaluados en esta investigación son estadísticamente iguales a los del testigo, a excepción del tratamiento T<sub>04</sub> (zumo con 0,4 % de agente encapsulante de mesocarpio de pomelo). Los valores de pH observados en esta investigación son similares a los encontrados por Badillo (2011) para la lima persa deshidratado en microondas (3,2) y deshidratado en

bandejas (3,5). Badillo expresa que en los deshidratados aumenta la acidez debido a que sus sales se disocian.

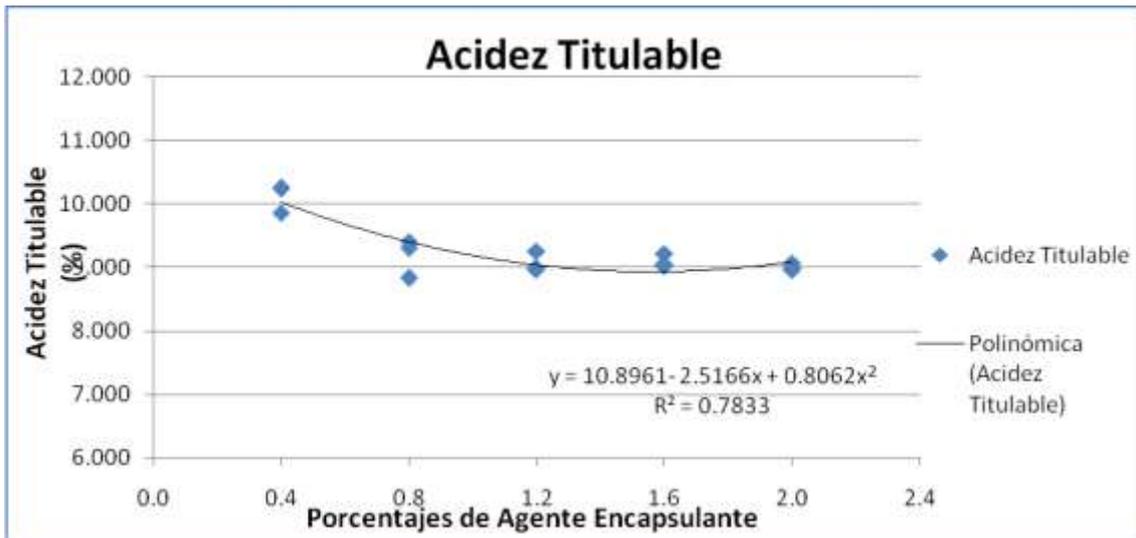
Los resultados obtenidos pudieran deberse además a que, en el interior de los alimentos, se producen gradientes de temperatura que ocasionan la difusión del agua y provocan cambios en sus propiedades (Rocca, 2010).

De acuerdo con los resultados del análisis de regresión lineal para el pH se obtuvo la ecuación  $Y = 3,0051 + 0,1131x - 0,0427x^2$ , con un coeficiente de determinación o  $R^2$  de 0,7312, lo cual significa que el 73,12 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante. La ecuación estimada para el pH indica una relación no lineal o polinómica (**Gráfica 1**).



**Gráfica 1.** Resultados análisis de regresión lineal para el pH del zumo de lima encapsulado.

En cuanto a la acidez, la ecuación obtenida en el análisis de regresión lineal fue  $Y = 10,8961 - 2,5166x + 0,8062x^2$ , con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,7833$ , significando que el 78,33 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante. La ecuación indica que la relación es no lineal, es polinómica (**Gráfica 2**).



**Gráfica 2.** Resultados análisis de regresión lineal para la acidez titulable del zumo de lima encapsulado.

En lo referente a la actividad de agua, los resultados muestran que los tratamientos con 1,6 y 2,0 % de agente encapsulante son estadísticamente iguales al testigo, mientras que los demás son iguales entre sí, pero diferentes al testigo. Esta diferencia se encontró al aumentar la concentración de encapsulante, debido quizás a que se dificulta la difusión del agua a través de él. De acuerdo a Torres (2009), cuando la cantidad de aditivo (encapsulante) es baja, se forman partículas muy inestables, las cuales experimentan cierto colapso durante el proceso de secado, dando valores altos de actividad de agua; los valores más bajos correspondieron a los tratamientos con mayores concentraciones de encapsulante, quizás porque en estos casos las partículas mostraron más estabilidad frente a la temperatura, consiguiéndose un secado más eficiente.

Mendoza (2015) sugiere que a una elevada velocidad de aspersion (26.000 rpm) y temperatura constante, el aumento en la concentración de maltodextrina conduce a la formación de partículas más grandes, con mayor área de transferencia de calor y de masa, disminuyendo la humedad del producto y su  $a_w$ . Este argumento también es ratificado con la aseveración de Torres (2009), quien indica que los procesos de secado y concentración se emplean para reducir el contenido de agua de un alimento, aumentando así la concentración de los solutos y disminuyendo la actividad de agua; encontró que la composición y la temperatura del aire de entrada influyen en el valor de la  $a_w$  de los deshidratados, concluyendo que con una cantidad

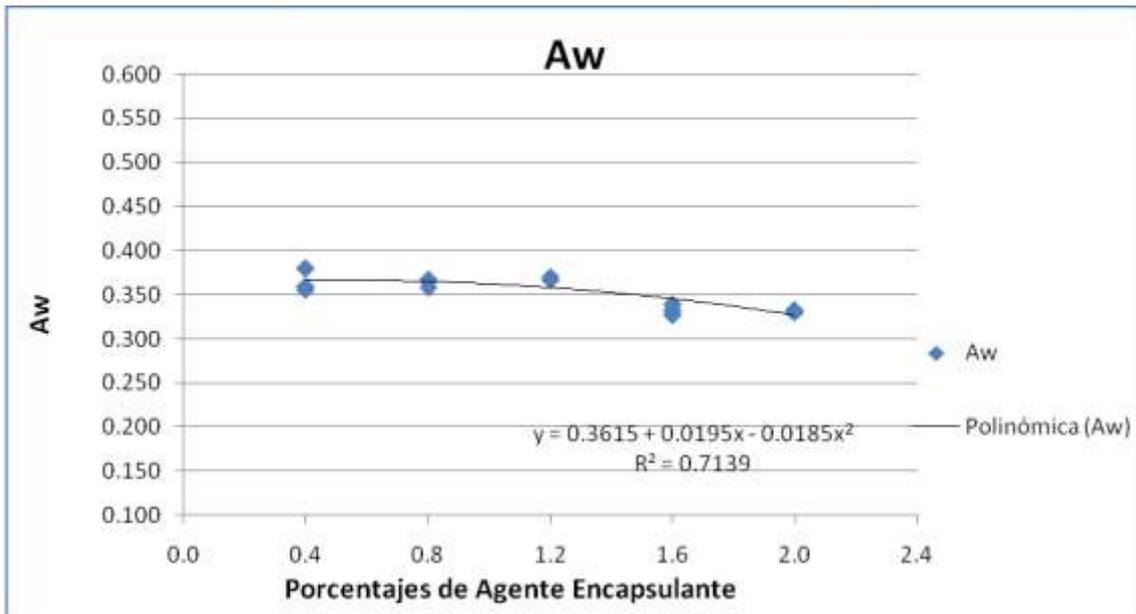
alta de aditivo (22 % de maltodextrina) y elevada temperatura de aire de entrada (150 °C) se consiguen los valores más bajos (0,165) y por tanto se obtienen sólidos más estables.

Asimismo, Rodríguez *et al.*, (2005) comprobaron para el zumo de higo chumbo atomizado, que cuando las partículas del polvo seco tienen poca cantidad de aditivo resultaron muy higroscópicas, por lo que una vez formado el polvo, al estar suspendido en el aire húmedo, pudieron hidratarse parcialmente.

Las muestras evaluadas presentaron valores de  $a_w$  entre 0,331 y 0,369, similares a los obtenidos por Mendoza (2015), que se encontraron entre 0,205 y 0,368; también son cercanos a los reportados por Queck *et al.*, (2007) en el secado de jugo de sandía ( $a_w \sim 0,3$ ), lo que según el mencionado autor permite considerar estos productos alimenticios como microbiológicamente estables, al tener un menor contenido de agua disponible para el desarrollo de reacciones bioquímicas ( $a_w < 0,6$ ). Marqués *et al.*, (2007) y Caliskan y Dirim (2013), informan que de 0,2 a 0,4 se asegura la estabilidad del producto frente a reacciones de oscurecimiento e hidrolíticas, de oxidación de lípidos, auto-oxidación y actividad enzimática.

Por otro lado, Sahin *et al.*, (2013) reportaron que el aumento en la concentración de agentes encapsulantes redujo ligeramente el valor de la actividad de agua, pero de manera no significativa. Resultados congruentes fueron publicados por Carrillo *et al.*, (2011); Fang y Bhandari (2012); Fazaeli *et al.*, (2012) y Bustos *et al.*, (2013).

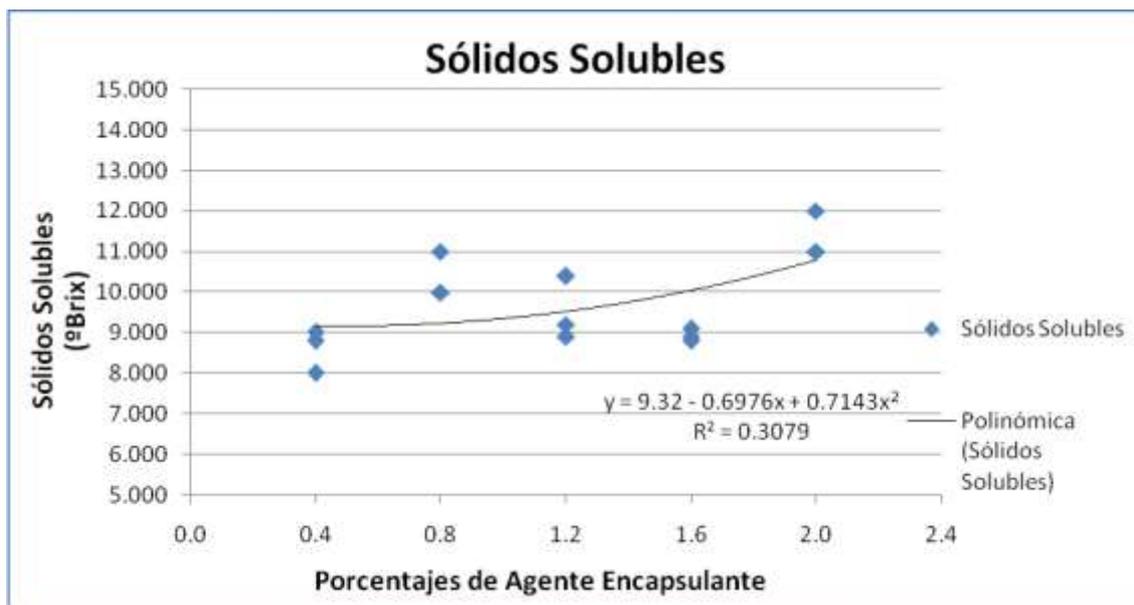
Según los resultados del análisis de regresión lineal para la variable actividad de agua se obtuvo la ecuación  $Y = 0,3615 + 0,0195x - 0,0185x^2$  con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,7139$ , lo cual significa que el 71,39 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante. La relación es no lineal (**Gráfica 3**).



**Gráfica 3.** Resultados análisis de regresión lineal para la actividad de agua del zumo de lima encapsulado.

Como se presenta en la **Tabla 3**, los resultados de sólidos solubles obtenidos en esta investigación muestran que los tratamientos evaluados son estadísticamente iguales al testigo, a excepción del tratamiento con 2,0 % de agente encapsulante. Estos valores están dentro del rango reportado por Kimball (2002) y Mendoza (2003) para la lima deshidratado (de 8 y 15 °Brix); además, son similares al obtenido por Couto *et al.*, (2011), al secar por aspersión extractos de romero ( $9,66 \pm 0,07$ ). Sin embargo, son menores al valor publicado por Rivas (2010), que corresponde a 24 °Brix; esta diferencia pudo deberse a que dicho autor utilizó un 50 % de maltodextrina como agente encapsulante. Por otra parte, López *et al.*, (2009) obtuvieron 46,44 °Brix empleando 39,95 % de maltodextrina para secar por aspersión pulpa de banano.

De acuerdo a los resultados del análisis de regresión lineal para los sólidos solubles se obtuvo la ecuación  $Y = 9,32 - 0,6976x + 0,7143x^2$ , con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,3079$ , lo que significa que el 30,79 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante. La ecuación estimada indica una relación polinómica o no lineal, lo cual puede observarse en la **Gráfica 4**.



**Gráfica 4.** Resultados análisis de regresión lineal para el contenido de sólidos solubles del zumo de lima encapsulado.

### 3.2. Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre Características Nutricionales del Zumo de Lima Encapsulado.

La **Tabla 4** contiene los valores medios de las propiedades nutricionales evaluadas en los zumos de lima persa encapsulados.

Mendoza (2015) asegura que la proporción del contenido de nutrientes en los productos evidencia la influencia de las materias y el proceso de elaboración.

De acuerdo con los datos obtenidos para la humedad (**Tabla 4**), se determinó que sólo el tratamiento con 0,8 % de agente encapsulante es estadísticamente diferente al testigo, los demás tratamientos presentaron iguales o menores porcentajes de humedad, siendo esta característica favorable para el producto encapsulado. El valor más alto se obtuvo con una concentración de 0,4 % de agente encapsulante y con el testigo, mientras que el menor valor fue reportado para la concentración de 0,8 % de encapsulante, contrario a lo publicado por Naddaf *et al.*, (2012), quienes al secar por aspersión jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica, encontraron que el encapsulante que brindó mayor protección a la humedad fue el de 5 % de maltodextrina.

**Tabla 4.-** Resultados para las Características Nutricionales del Zumo de Lima Encapsulado

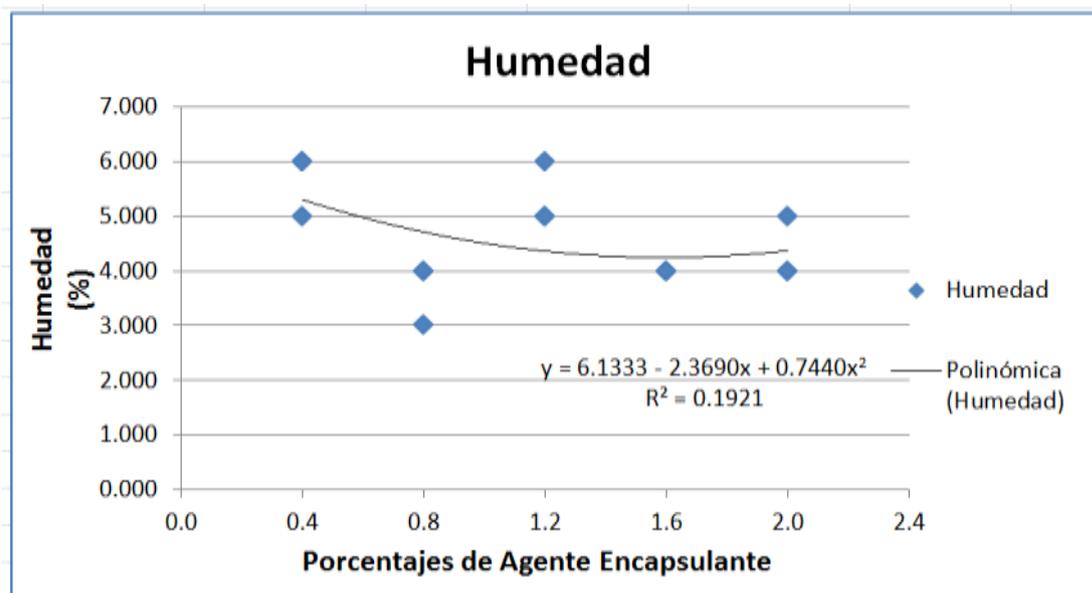
Concentración Encapsulante	0,4 %	0,8 %	1,2 %	1,6 %	2,0 %	Testigo (1,2 % Maltodextrina)
<b>Humedad (%)</b>	5,67±0,58 <sup>a</sup>	3,67±0,58 <sup>b</sup>	5,33±0,58 <sup>ab</sup>	4,00±0,00 <sup>ab</sup>	4,33±0,58 <sup>ab</sup>	5,67±1,15 <sup>a</sup>
<b>Proteína (%)</b>	2,12±0,02 <sup>a</sup>	2,09±0,04 <sup>a</sup>	2,10±0,06 <sup>a</sup>	1,90±0,21 <sup>a</sup>	2,01±0,15 <sup>a</sup>	1,92±0,06 <sup>a</sup>
<b>Cenizas (%)</b>	16,07±0,23 <sup>a</sup>	15,60±0,53 <sup>ab</sup>	15,33±0,23 <sup>abc</sup>	14,87±0,11 <sup>bc</sup>	14,63±0,15 <sup>c</sup>	14,73±1,14 <sup>bc</sup>
<b>Hidratos de Carbono (mg Glucosa Equivalentes/g muestra)</b>	15,16±0,62 <sup>c</sup>	16,99±0,23 <sup>b</sup>	16,70±0,62 <sup>bc</sup>	16,95±0,97 <sup>b</sup>	19,16±0,20 <sup>a</sup>	15,06±0,71 <sup>c</sup>

Letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los valores colocados después del símbolo  $\pm$  indican desviación estándar.

El contenido de humedad de todos los tratamientos evaluados en este estudio, es similar (2 - 6 %) a lo reportado por Castro (2014) para secado por aspersión de jugo clarificado de tuna morada y a lo observado por Sáenz *et al.*, (2009), para secado de jugo de tuna; también son congruentes con los encontrados por Mendoza (2015), quien reportó valores comprendidos entre 1,48 y 5,84 %, correspondiendo los más elevados a las menores concentraciones de maltodextrina utilizadas; expresó que al aumentar la concentración de maltodextrina de 20 % a 30 %, la humedad del producto varió de 4,70 % a 2,52 %. De modo similar, Mishra *et al.*, (2013) publicaron que el incremento en la concentración de maltodextrina de 5 a 9 % disminuye significativamente la humedad del producto en polvo obtenido a partir de jugo de grosella de amla (5,6 % a 3,8 %). Estos hechos pueden ser explicados con lo expuesto por Abadio *et al.*, (2004), quienes afirman que en un sistema de secado por aspersión, el contenido de agua de la alimentación tiene un efecto sobre el contenido final de humedad del polvo obtenido; explica que la adición de maltodextrina a la alimentación antes del secado, aumenta el contenido de sólidos totales y reduce la cantidad de agua disponible para la evaporación, lo que según Queck *et al.*, (2007) significa que los polvos con menor contenido de humedad se podrían obtener mediante el aumento del porcentaje de maltodextrina añadido.

Según los resultados del análisis de regresión lineal para la humedad se obtuvo la ecuación  $Y = 6,1333 - 2,3690x + 0,7440x^2$ , con un coeficiente de determinación

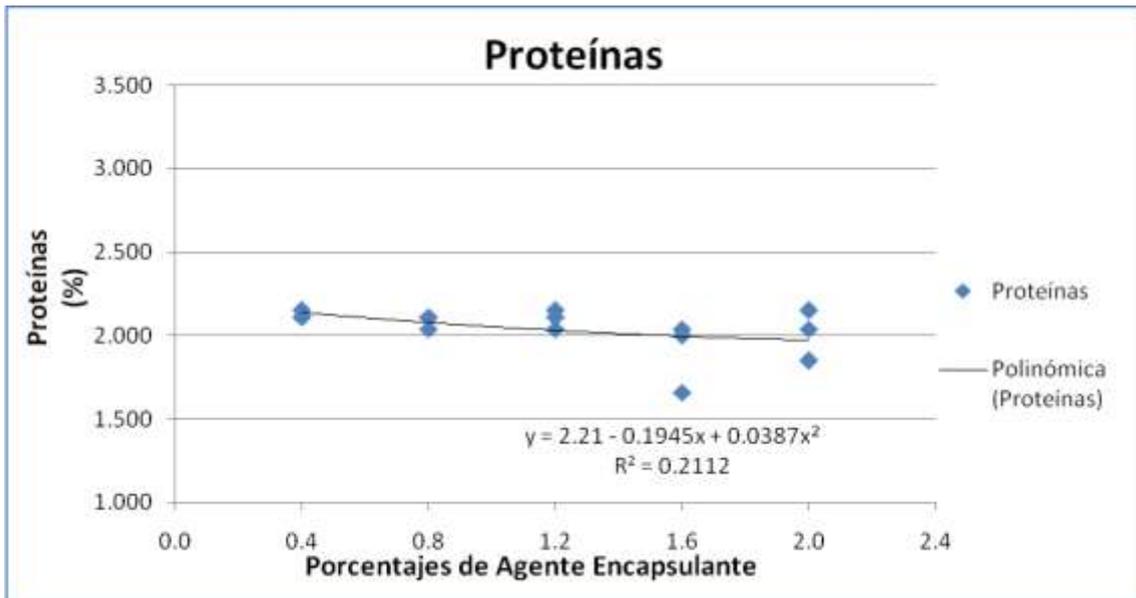
$R^2 = 0,1921$ , lo que significa que el 19,21 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante. Para la variable humedad, la relación es no lineal como se visualiza en la **Gráfica 5**.



**Gráfica 5.** Resultados análisis de regresión lineal para el porcentaje de humedad del zumo de lima encapsulado.

En la **Tabla 4** se observa que la concentración de agente encapsulante utilizada no afecta el contenido de proteínas del producto deshidratado; todos los tratamientos evaluados son estadísticamente iguales al testigo. Los valores encontrados son más elevados que el reportado por Caez y Jaraba (2012) para jugo de mango encapsulado con maltodextrina (0,59 %) y cercanos al observado por Mendoza (2015) para el producto en polvo obtenido a base de lactosuero y pulpa de mango (2,56 %). Naddaf *et al.*, (2012), al secar por aspersion jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica, encontraron que la mejor matriz protectora de las proteínas fue la maltodextrina al 5 y 7 %.

En relación con el porcentaje de proteínas, la ecuación obtenida en el análisis de regresión lineal fue  $Y = 2,21 - 0,1945x + 0,0387x^2$ , con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,2112$ , lo cual significa que el 21,12 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante. Esta ecuación muestra que la relación es no lineal, como se visualiza en la **Gráfica 6**.



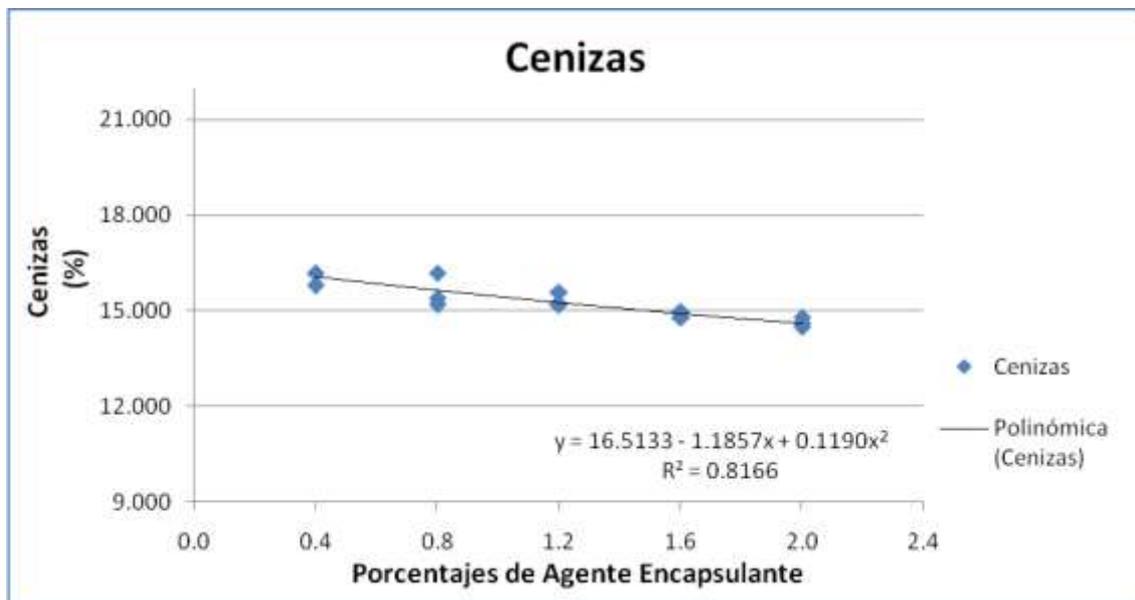
**Gráfica 6.** Resultados análisis de regresión lineal para el porcentaje de proteínas del zumo de lima encapsulado.

En cuanto al contenido de cenizas, sólo el tratamiento con 0,4 % de agente encapsulante es diferente al testigo y es el que presenta el mayor valor (16,1 %). En general, esta variable disminuyó a medida que aumentó la concentración de agente encapsulante adicionado.

Los porcentajes de ceniza encontrados son mayores a los obtenidos por Caez y Jaraba (2012), quienes reportaron 0,429 % de cenizas en jugo de mango microencapsulado con maltodextrina DE-19. También son más altos que los obtenidos por Rivas (2010), en jugo de chirimoya estabilizado enzimáticamente y microencapsulado utilizando 50 % de maltodextrina, que correspondieron a valores entre 1,23 a 2,12 %. Contrario a lo publicado por Badillo (2011), en el deshidratado de lima persa en microondas y bandejas, quien expresa que el porcentaje de cenizas aumenta con la deshidratación debido a que según progresa la desecación, el contenido de agua disminuye, permitiendo que los elementos minerales se encuentren en mayor concentración.

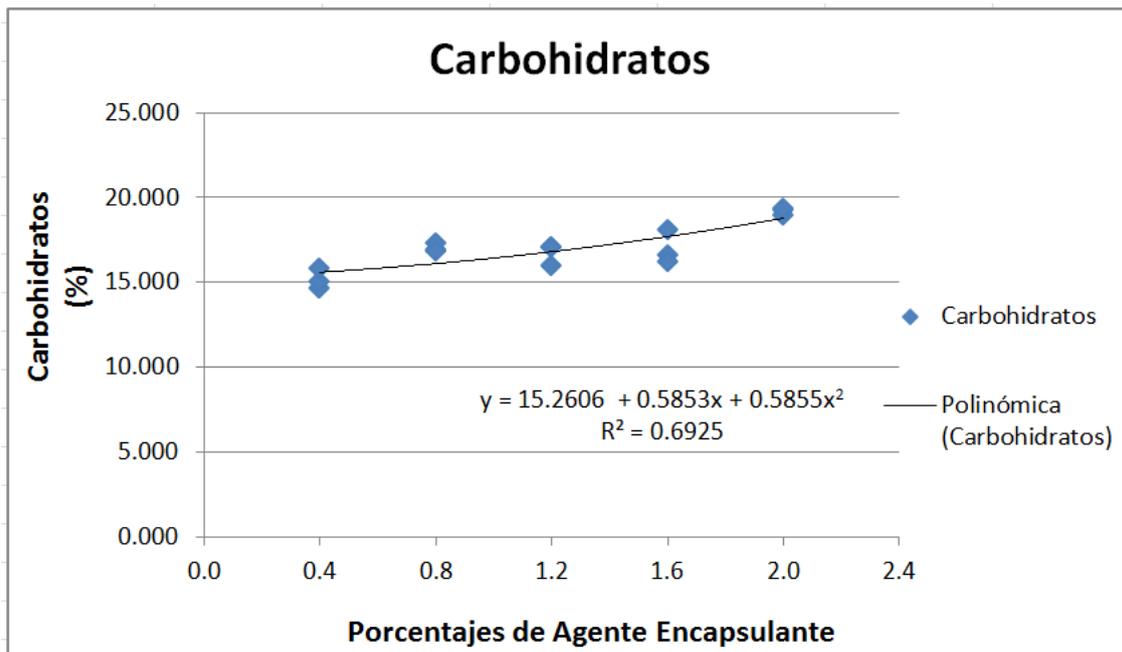
A continuación, se presenta la **Gráfica 7**, que contiene los resultados del análisis de regresión lineal para las cenizas. Se observa una relación polinomial, no lineal y la ecuación obtenida fue  $Y = 16,5133 - 1,1857x + 0,1190x^2$ , con un coeficiente de

determinación  $R^2 = 0,8166$ , indicando que el 81,66 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante.



**Gráfica 7.** Resultados análisis de regresión lineal para el porcentaje de cenizas del zumo de lima encapsulado.

Los resultados obtenidos para los hidratos de carbono muestran que sólo los tratamientos  $T_{04}$  y  $T_{12}$  son iguales al testigo, los demás presentan mayor cantidad que estos, lo que significa que el pulverizado de mesocarpio de pomelo tiene mayor efecto protector de esta variable. Al realizar el análisis de regresión lineal para este nutriente se obtuvo la ecuación  $Y = 15,2606 + 0,5853x + 0,5855x^2$ , con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,6925$ , lo cual significa que el 69,25 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante. También para esta variable la relación es no lineal como se visualiza en la **Gráfica 8**.



**Gráfica 8.** Resultados análisis de regresión lineal para el contenido de carbohidratos del zumo de lima encapsulado.

### **3.3-Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre Componentes Bioactivos del Zumo de Lima Encapsulado.**

En la **Tabla 5** se detallan los resultados obtenidos para los compuestos bioactivos de los zumos de lima secados por aspersion. Se aprecia que los tratamientos evaluados son estadísticamente diferentes entre sí. El contenido de compuestos fenólicos totales de los diferentes tratamientos es mayor que el observado en el testigo y a medida que aumenta la concentración de encapsulante, también se eleva el valor de los compuestos fenólicos, por lo tanto, se podría decir que las concentraciones más elevadas de encapsulante de pulverizado de mesocarpio de pomelo tienen mayor efecto protector de esta variable.

Distinto a los resultados obtenidos en esta investigación, cuando Vergara *et al.*, (2009) evaluaron los agentes antioxidantes de un extracto de flor de jamaica microencapsulado usando goma de mezquite a concentraciones de 1, 2, 3, 4 y 5%, afirmaron que la concentración de la goma de mezquite no tuvo un efecto importante en el contenido de compuestos fenólicos y como no encontraron diferencias significativas en esta variable para cada tratamiento, concluyeron que todos tuvieron el mismo efecto protector.

**Tabla 5.-** Resultados para los Componentes Bioactivos del Zumo de Lima Encapsulado

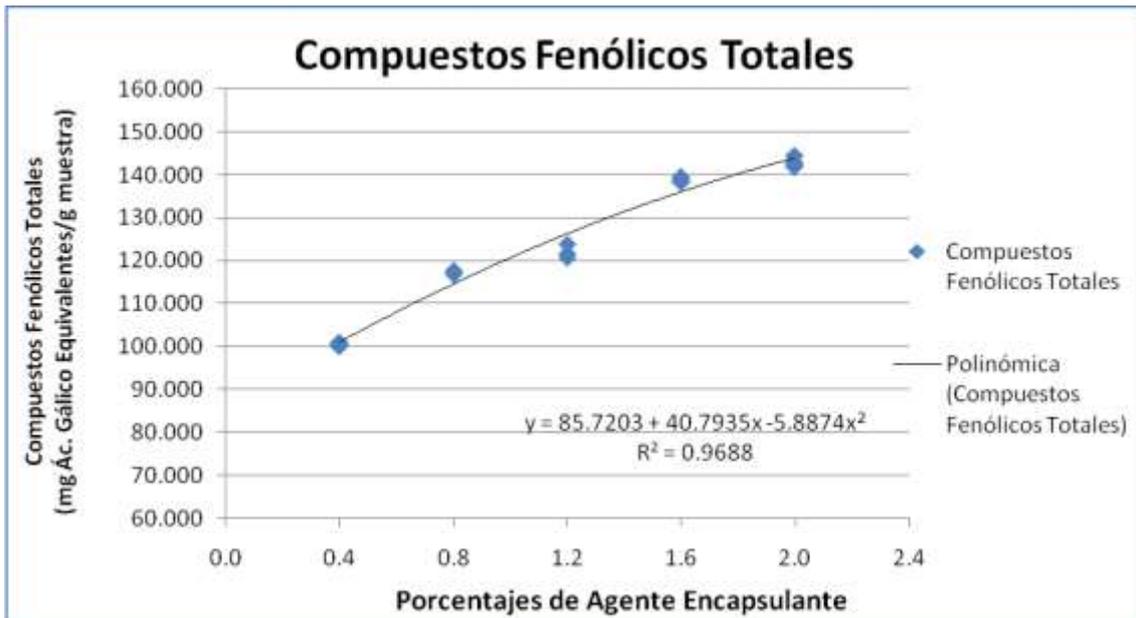
Concentración Encapsulante	0,4 %	0,8 %	1,2 %	1,6 %	2,0 %	Testigo (1,2 % Maltodextrina)
<b>Compuestos Fenólicos Totales</b>						
(mg Ácido Gálico Equivalentes/g muestra)	100,47± 0,49 <sup>e</sup>	117,22± 0,49 <sup>d</sup>	122,05± 1,65 <sup>c</sup>	138,81± 0,49 <sup>b</sup>	143,00± 1,41 <sup>a</sup>	91,70± 1,15 <sup>f</sup>
<b>Flavonoides Totales</b>						
(mg Quercetina Equivalentes/g muestra)	0,113± 0,00 <sup>e</sup>	0,178± 0,00 <sup>d</sup>	0,179± 0,00 <sup>d</sup>	0,185± 0,00 <sup>c</sup>	0,307± 0,00 <sup>a</sup>	0,300± 0,00 <sup>b</sup>
<b>Ácido Ascórbico</b> (mg de Ácido Ascórbico equivalentes/g muestra)						
	53,61± 0,00 <sup>f</sup>	147,74± 0,86 <sup>d</sup>	180,18± 0,00 <sup>c</sup>	209,43± 2,27 <sup>b</sup>	304,07± 2,37 <sup>a</sup>	113,18± 2,87 <sup>e</sup>

Letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los valores colocados después del símbolo  $\pm$  indican desviación estándar.

Por otra parte, Desobry *et al.*, (1997) observaron pérdidas del 11 % de  $\beta$ -carotenos encapsulados con maltodextrinas y Cardona *et al.*, (2009) reportaron pérdidas del 21,5 % de los compuestos fenólicos de uva Muscadinia en un proceso de secado por aspersión sin agente encapsulante.

Con el análisis de regresión lineal para los compuestos fenólicos totales se obtuvo la ecuación  $Y = 85,7203 + 40,7935x - 5,8874x^2$ , cuyo coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9688$ , indicando que el 96,88 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante. Para esta variable la relación es no lineal como se visualiza en la **Gráfica 9**.

El contenido de flavonoides totales para el testigo fue mayor (0,3 mg Quercetina Equivalentes/g muestra) que, para los demás tratamientos evaluados en la investigación, excepto para el tratamiento T<sub>20</sub>, el cual presentó un mayor contenido. Estos resultados sugieren que, al aumentar la cantidad de encapsulante, se obtiene mayor contenido de flavonoides totales, quizás por el efecto protector que este ofrece.

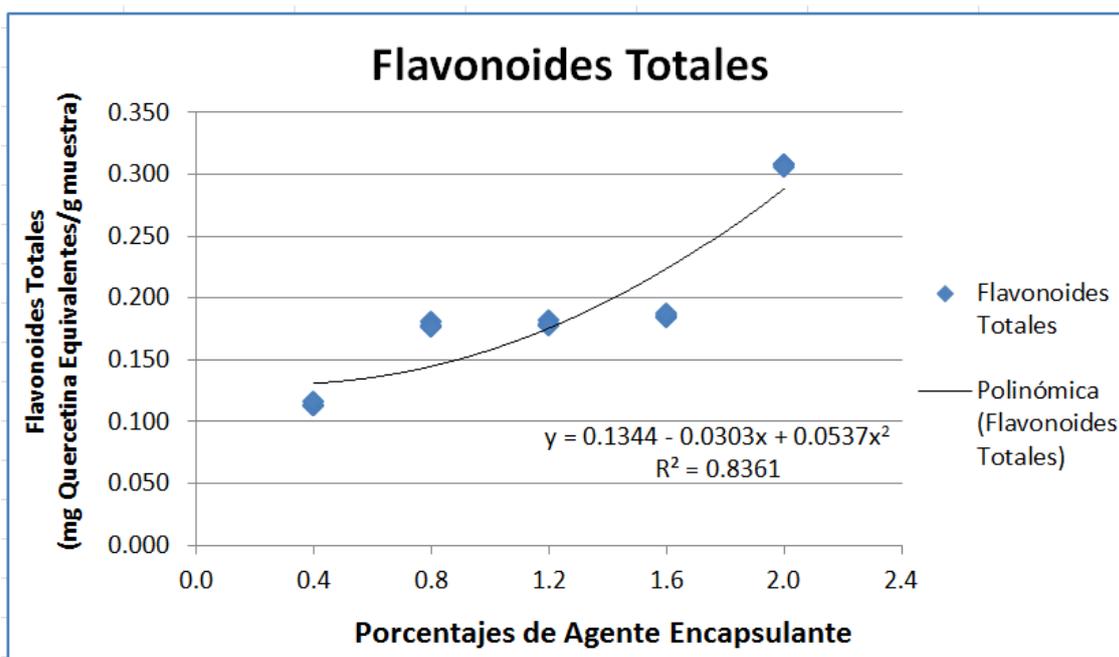


**Gráfica 9.** Resultados análisis de regresión lineal para el contenido de compuestos fenólicos totales del zumo de lima encapsulado.

Reyes *et al.*, (2014) microencapsularon los compuestos activos de muestras de nopal (*Opuntia ficus-indica*), utilizando como agente encapsulante goma seyal, goma Senegal y maltodextrina y determinaron que la mayor protección a los flavonoides de las muestras analizadas es estable cuando se usa como material de pared la goma arábica seyal, ya que le brinda protección durante el encapsulado.

La **Gráfica 10** contiene los resultados del análisis de regresión lineal para los flavonoides totales. Se obtuvo la ecuación  $Y = 0,1344 - 0,0303x + 0,0537x^2$ , con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,8361$ , entonces el 83,61 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante y para esta variable la relación es no lineal.

Según los resultados de la determinación de ácido ascórbico (**Tabla 5**), se aprecia que solo el tratamiento con 0,4 % de pulverizado de mesocarpio de pomelo posee menor contenido de ácido ascórbico que el testigo, por tanto, los demás tratamientos proporcionan mejores resultados. Los datos mostrados sugieren, además, que con un aumento de la concentración de encapsulante, también se eleva el contenido de ácido ascórbico. El tratamiento que mostró mayor protección al ácido ascórbico fue el de 2,0 % de agente encapsulante de pomelo.

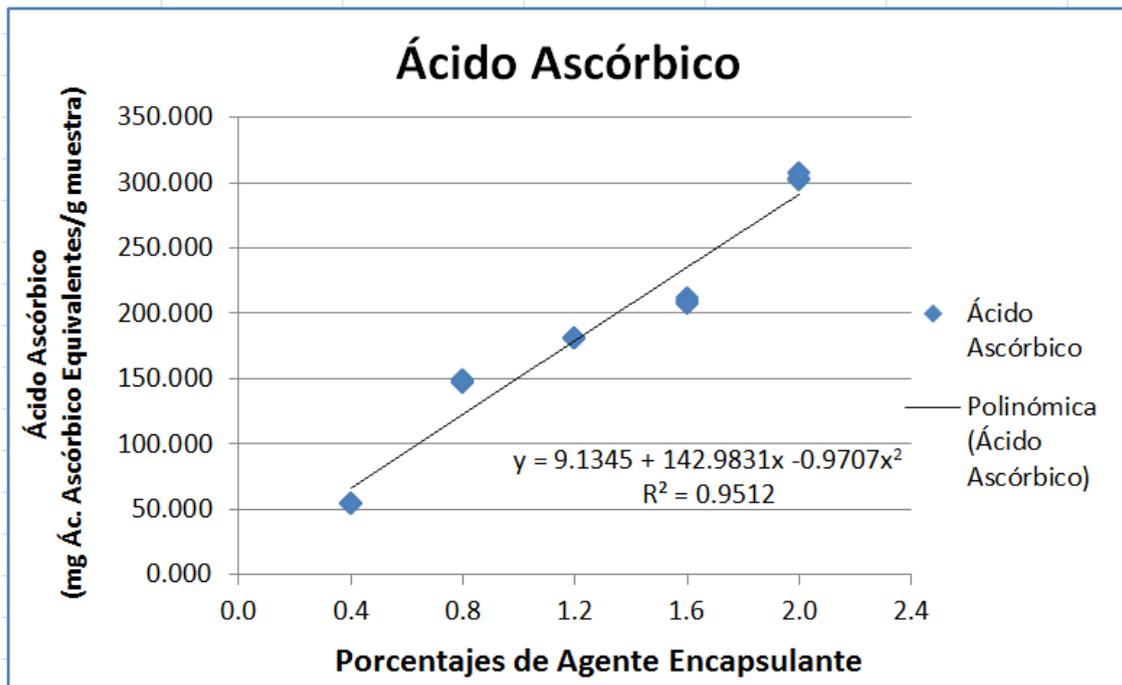


**Gráfica 10.** Resultados análisis de regresión lineal para el contenido de flavonoides totales del zumo de lima encapsulado.

González *et al.*, (2011), en el estudio de secado por aspersion de jugo de sandía (*Citrullus lanatus Thunb*) utilizando los agentes encapsulantes maltodextrina y goma arábica con concentraciones de 0,5 % y una mezcla de los mismos con concentración de 0,5 %, determinaron que fue mejor el tratamiento correspondiente al uso de 0,5 % de la mezcla de maltodextrina DE-10 y goma arábica (1:1) p/p; dijeron que en este tratamiento los compuestos volátiles en el producto de sandía en polvo secado por aspersion, no presentaron diferencia significativa con el extracto original.

Lo hallado en este estudio también es confirmado por Liu (2014), quien afirma que la relación pectina – almidón influye sobre las propiedades físicas y funcionales de las micropartículas de ácido ascórbico encapsuladas; sus resultados sugirieron que la proporción de almidón-pectina influyó más que el tipo de almidón, sobre la eficiencia de encapsulación del ácido ascórbico.

De acuerdo con los resultados del análisis de regresión lineal para el ácido ascórbico se obtuvo la ecuación  $Y = 9,1345 + 142,9831x - 0,9707x^2$ , con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9512$ , lo que significa que el 95,12 % de la variación se debe a la concentración de agente encapsulante. Para esta variable la relación es no lineal (**Gráfica 11**).



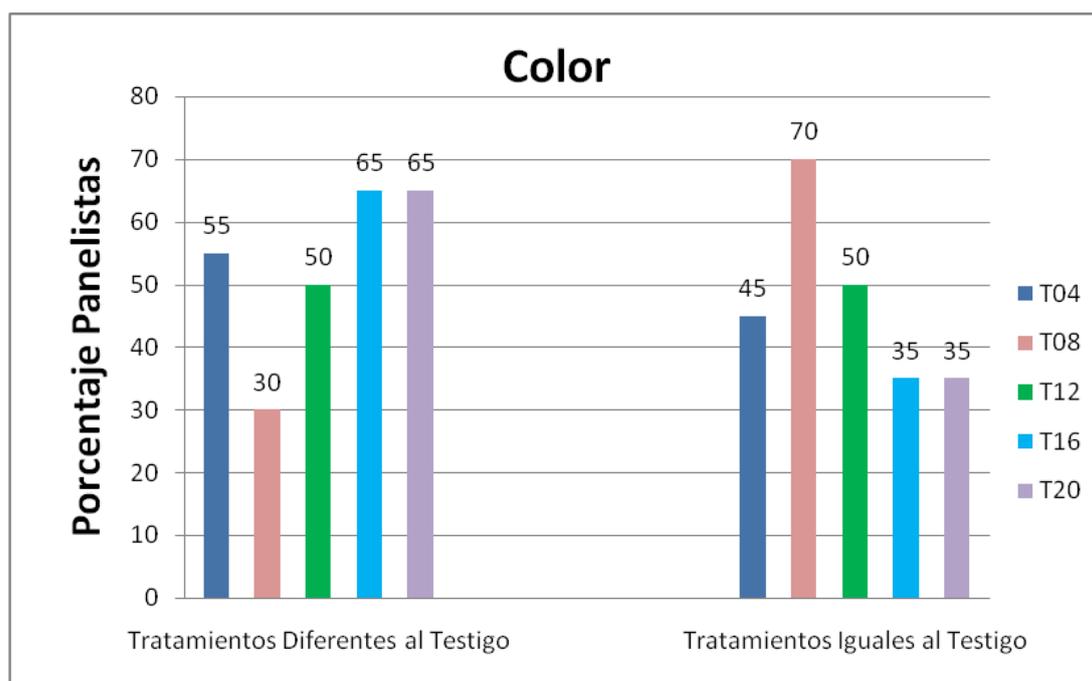
**Gráfica 11.** Resultados análisis de regresión lineal para el contenido de ácido ascórbico del zumo de lima encapsulado.

### **3.4. -Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre las Diferencias en Características Organolépticas del Zumo de Lima Atomizado**

En la **Gráfica 12** se muestran los resultados del color en los zumos de lima evaluados en esta investigación según la percepción de los panelistas.

De acuerdo con Torres (2009), una elevada cantidad de aditivo (19 % de maltodextrina), superior al porcentaje de extracto seco, puede provocar rechazo del zumo reconstituido por parte del consumidor, ya que puede afectar al sabor, al olor y al color, además de resultar más costoso el proceso; agrega que la deshidratación conlleva pérdidas en los aromas y otras características de los alimentos, lo que afecta la calidad del producto. Asimismo, Rivas (2010) reporta que a concentraciones de maltodextrina mayores a 50 % base seca, se obtienen productos con características indeseables, por lo tanto, es ideal trabajar con concentraciones inferiores.

Torres (2009) afirma que las características sensoriales son para el consumidor los atributos más importantes para la aceptación de los alimentos, y pequeñas diferencias pueden afectar a su valoración.



**Gráfica 12.** Resultados para el análisis de color del zumo de lima encapsulado.

Los resultados de este estudio muestran que en general, el color del producto reconstituido luego de ser encapsulado con pulverizado de mesocarpio de pomelo es distinto al del testigo, excepto para el caso del T<sub>08</sub> (0,8 % de agente encapsulante), que el 70 % de los panelistas no encontró diferencias; en cuanto al T<sub>12</sub> (1,2 % de encapsulante) el 50 % de los panelistas no percibió diferencias respecto al testigo, mientras que el 50 % restante encontró que tienen colores diferentes.

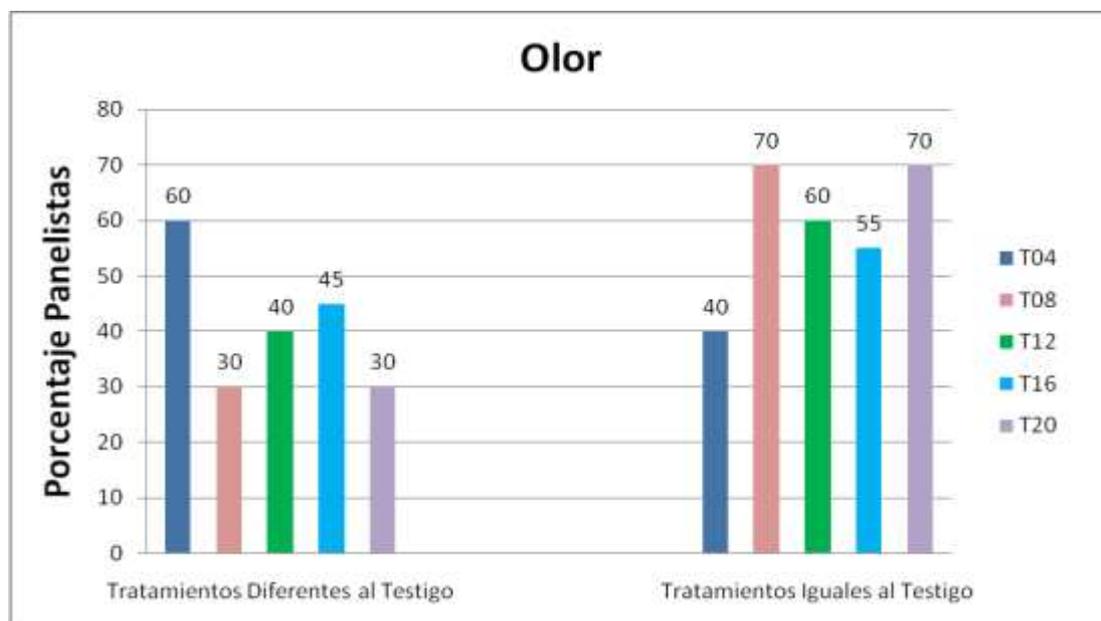
Estos hallazgos pueden ser explicados por el argumento de Fellows (2006), quien indica que un factor que puede explicar la diferencia en los atributos de color es el diferente contenido de agua de las biomásas ya que los procesos de secado modifican la superficie de un producto alterando su reflectividad y color. Este hecho también es aclarado por la explicación presentada por Cortés y Chiralt (2008), quienes exponen que las variaciones en el color del jugo rehidratado se deben principalmente a reacciones de formación de complejos con iones metálicos como el cobre y el hierro, lo que trae como consecuencia un pardeamiento del producto y reacciones de degradación de pigmentos (especialmente carotenoides y clorofila), que afectan el color durante el secado. Además, de acuerdo a Wagner y Wathesen (1995) y Von y Schwartz (1996), los procesos de deshidratación pueden contribuir a la degradación oxidativa debido a la exposición al oxígeno y un aumento en la relación masa:

superficie. Según Torres (2009), el color es generado por compuestos químicos de naturaleza no volátil que pueden afectarse por el calor, el cambio de pH, oxidaciones de tipo enzimático y no enzimático lo que puede provocar deterioro del alimento.

Por otro lado, Mendoza (2015) explicó que en la medida que aumenta la concentración de maltodextrina y la temperatura de entrada del aire, la luminosidad del producto aumenta, pues la maltodextrina es un polímero de color blanco que al estar en mayor concentración en un producto aumenta el valor de luminosidad ( $L^*$ ); expresó que era evidente que en la medida que aumentaba la concentración de maltodextrina (de 20 % a 30 %), se reducía la intensidad de color porque disminuía la saturación de las tonalidades de referencia (cromaticidad verde<sup>(-)</sup>, roja<sup>(+)</sup> = parámetro  $a^*$  y cromaticidad amarilla<sup>(+)</sup>, azul<sup>(-)</sup> = parámetro  $b^*$ ); también indicó que la disminución de la humedad del producto se podría correlacionar igualmente con el aumento en el valor de  $L^*$ , ya que al disminuir la humedad se refleja mejor el espectro de la luz que incide sobre la superficie de las partículas. Este argumento es corroborado por Caliskan y Dirim (2013), quienes reportaron que el aumento tanto en la concentración de maltodextrina como en las temperaturas de entrada y salida del proceso aumentan la luminosidad ( $L^*$ ) del polvo de zumaque. Además, Peng *et al.*, (2013) encontraron que la luminosidad del polvo de batata se incrementa significativamente con el aumento en la concentración de maltodextrina durante el proceso de secado por atomización. De igual modo, Queck *et al.*, (2007) evidenció que la adición de maltodextrina en un 10 % al jugo de sandía, disminuía el atractivo color rojo – naranja del producto en polvo obtenido por aspersión.

Méndez (1972), deshidrató por rociada el jugo de lima sutil, utilizando carboximetil celulosa de sodio en proporciones de 1, 2, 3 y 4 % en peso sobre sólidos totales del jugo de lima y observó que el color original del jugo era protegido y que la pérdida de aroma era insignificante. También experimentó con pectina cítrica en polvo en proporciones de 10, 15 y 29 % sobre el peso de los sólidos de jugo de lima sutil y obtuvo mejores resultados conforme aumentaba la concentración; el color no sufrió alteraciones importantes y el aroma y sabor presentan los mismos cambios experimentados debido a la concentración del jugo.

La **Gráfica 13** contiene la apreciación del panel sensorial para el olor de los zumos de lima evaluados en esta investigación. Los panelistas consideran que los tratamientos estudiados tienen olor similar al del testigo, excepto el T<sub>04</sub> (0,4 % de agente encapsulante), del cual, el 60 % de los panelistas opinó que hay variación.

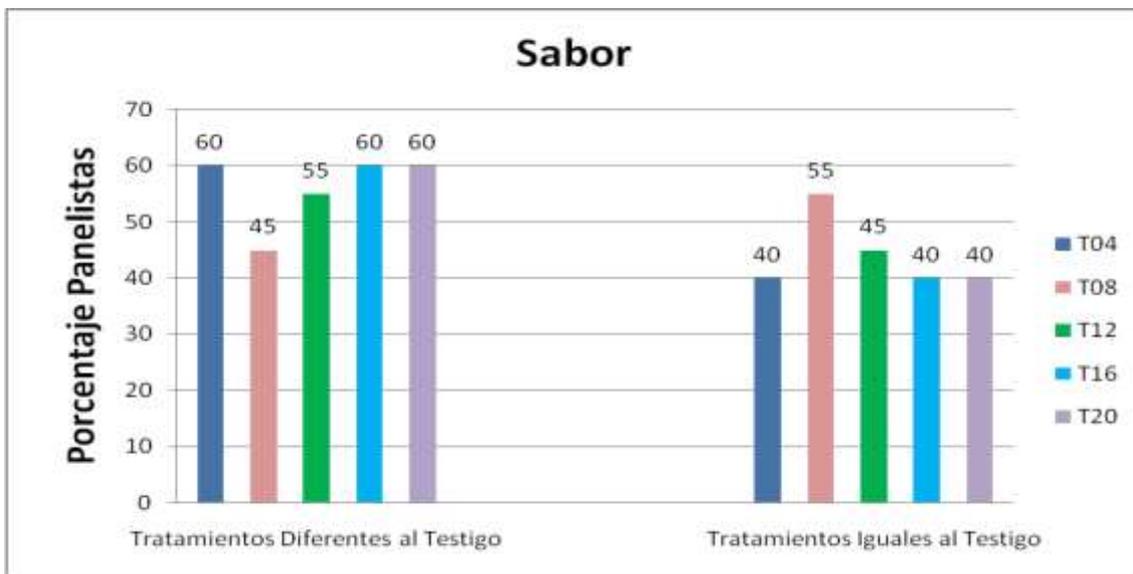


**Gráfica 13.** Resultados para el análisis de olor del zumo de lima encapsulado.

Caez y Jaraba (2012), encontraron que los polvos de mango obtenidos mediante secado por aspersion presentaron el olor y sabor propios del mango de azúcar (conservaron las características del jugo de fruta fresca). Asimismo, Torres (2009) declaró que los panelistas no apreciaron olores ni sabores nuevos e impropios de la uva en el mosto atomizado, aunque sí una menor intensidad desde el punto de vista olfativo; explica que el olor y sabor que caracterizan un alimento son consecuencia de compuestos químicos de naturaleza volátil, los cuales son sensibles al paso del tiempo porque pueden disminuir en concentración por evaporación desde la matriz o por transformaciones químicas como la oxidación, reducción, reacción de Maillard, entre otros.

Por otro lado, Mongenot *et al.*, (2000) reportaron que la eficiencia de encapsulación del aroma a queso fue mayor en una matriz conteniendo almidón, comparada con una matriz conteniendo maltodextrina.

En la **Gráfica 14** se aprecia que el sabor del zumo de lima encapsulado utilizando pulverizado de mesocarpio de pomelo es diferente al encapsulado con maltodextrina DE-10, excepto por el tratamiento T<sub>08</sub> (con 0,8 % de agente encapsulante), en el cual el 55 % de los panelistas encontró que este tiene igual sabor que el testigo. Esto podría ser explicado por el argumento de Bonazzi y Dumoulin (2011), quienes manifiestan que los compuestos de sabor son sustancias químicas volátiles que podrían evaporarse durante el secado, debido al calentamiento del producto y la eliminación de agua.

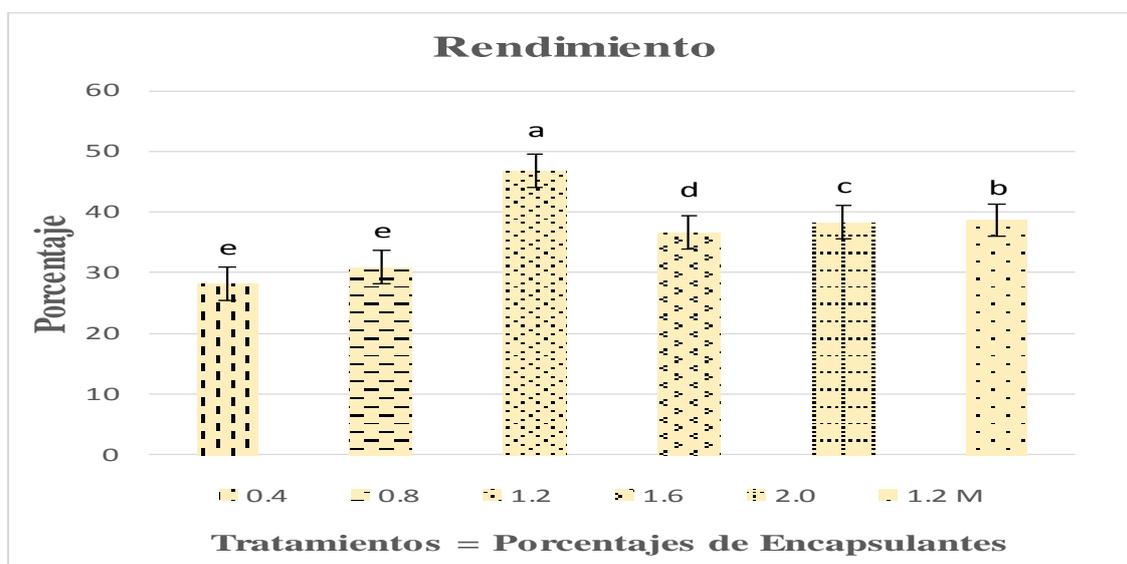


**Gráfica 14.** Resultados para el análisis de sabor del zumo de lima encapsulado.

### **3.5.- Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre el Rendimiento del Zumo de Lima Encapsulado.**

La **Gráfica 15** muestra que el rendimiento en peso de los zumos de lima encapsulados obtenidos en esta investigación estuvo comprendido entre 28,15 y 46,76 %, correspondiendo el mayor valor (46,76 %) al tratamiento T<sub>12</sub>, seguido por el tratamiento T<sub>20</sub> (38,31 %) y por el testigo (36,67 %); estos resultados pueden ser explicados por el argumento de Caliskan y Dirim (2013), quienes exponen que un aumento en la cantidad de agente encapsulante después de un cierto intervalo no es eficaz en los rendimientos, pero incrementa el costo del proceso. Similarmente, Fang y Bhandari (2012) encontraron que el aumento en la concentración de maltodextrina por encima de un 30 % no tiene efecto significativo en el incremento del rendimiento

del producto obtenido, considerando esta concentración como la cantidad necesaria para un proceso de secado exitoso de zumo de baya. Por el contrario, Mendoza (2015) expresó que en la medida que aumenta la cantidad de maltodextrina de 20 a 30 %, se incrementa el rendimiento del producto debido a que se va aumentando la cantidad de sólidos en la formulación, pues la maltodextrina provoca además el incremento del tamaño de las partículas, lo que hace que haya menos finos. El rendimiento más bajo (48,08 %) lo obtuvo al emplear 15 % de maltodextrina, mientras que el valor más elevado fue de 74,85 %, para el tratamiento con 30 % de este encapsulante.



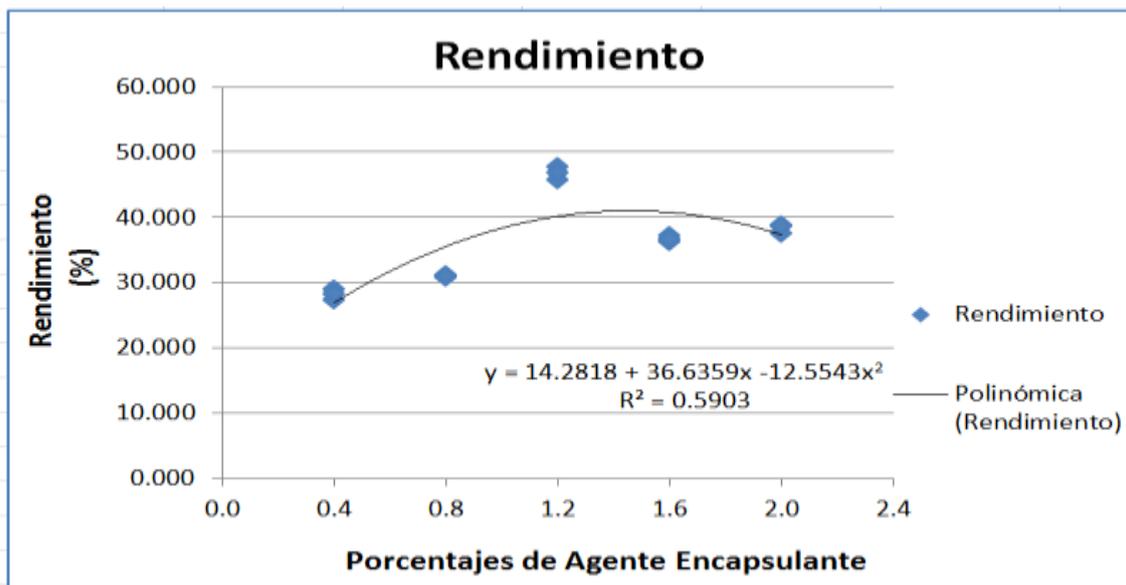
**Gráfica 15.** Resultados para el rendimiento del zumo de lima encapsulado.

Los valores de rendimiento hallados en este estudio son similares (42 %), a los obtenidos por Rivas (2010), para jugo de chirimoya. Sin embargo, se encuentran muy por debajo de los valores obtenidos por Lozano (2009), para microencapsulados de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización (51 %, en ausencia de ayudantes de secado y 60-70 %, con fructooligosacáridos), lo cual probablemente se debe a los azúcares contenidos en los jugos de cítricos, que hacen que el producto se adhiera a las paredes del equipo. Los bajos valores de rendimiento reportados en este estudio además pueden ser explicados por el argumento de López *et al.*, (2009), quienes concluyeron que una alta concentración de sólidos totales es un factor crítico para incrementar el rendimiento en el proceso de secado; estimaron que 40 % era el mínimo contenido de sólidos solubles esperados para obtener un buen rendimiento, por lo cual, emplearon 39,95 % de maltodextrina (con 21 % equivalentes de dextrosa)

para secar pulpa de banano por aspersión y obtuvieron un rendimiento de 67 %. De manera similar, Sansone *et al.*, (2011), indican que una concentración de pectina inferior al 1 % en la solución de alimentación, es incapaz de formar gotitas bien recubiertas, resultando en la pérdida de material de núcleo durante el secado por pulverización (pobre retención de sólidos después del secado).

Por otra parte, Romero *et al.*, (2001) afirman que la exposición a altas temperaturas durante un período prolongado disminuye el rendimiento debido a la degradación térmica de los compuestos. Jun-xia *et al.*, (2011), explican que el pH del sistema afecta significativamente la coacervación entre proteína de aislado de soya y goma arábiga: valores de pH de 3,5 o inferiores, dan como resultado una reducción significativa del rendimiento de coacervado.

De acuerdo a los resultados del análisis de regresión lineal para el rendimiento se obtuvo la ecuación  $Y = 14,2818 + 36,6359x - 12,5543x^2$ , con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,5903$ . Esta variable presenta una relación polinomial o no lineal como se visualiza en la **Gráfica 16**.



**Gráfica 16.** Resultados análisis de regresión lineal para el rendimiento.

### 3.6.- Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre la Temperatura de Transición Vítrea del Polvo de Zumo de Lima Encapsulado

En la **Tabla 6** se observa que la cantidad de encapsulante utilizada en los zumos no tuvo efecto sobre la temperatura de transición vítrea. Probablemente debido a que las diferencias en cantidades de ayudantes de secado adicionadas eran mínimas. De manera similar, Fang y Bhandari (2012), no encontraron efecto sobre la Tg de polvos de jugo de bayberry encapsulados utilizando 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 7,5 y 10% de aislado de proteína de suero.

**Tabla 6.-** Resultados para la Temperatura de Transición Vítrea del Zumo de Lima Encapsulado a distintas concentraciones de Agente de Recubrimiento.

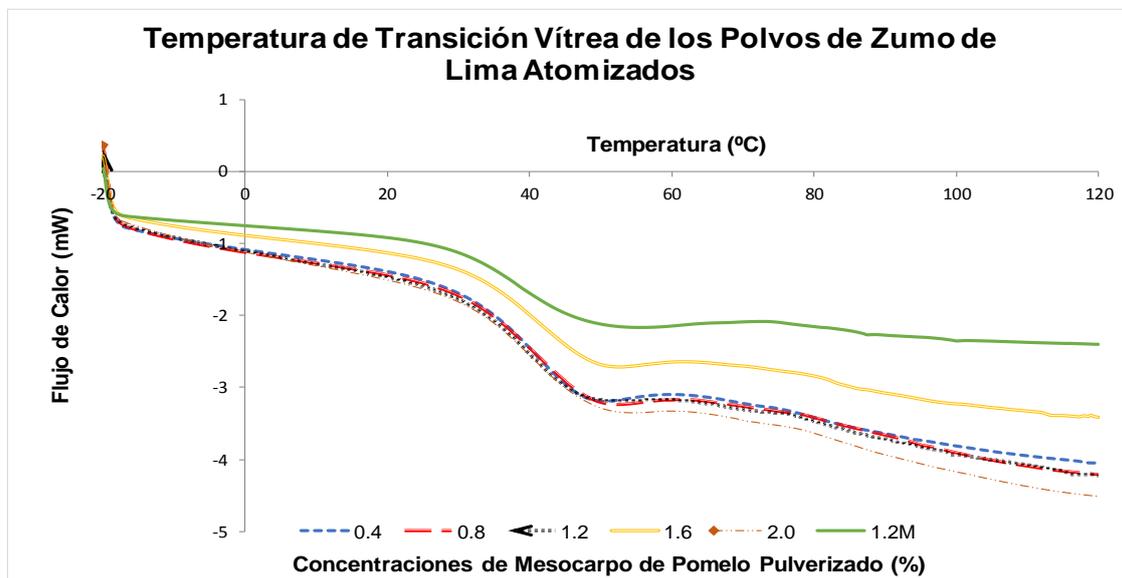
Concentración Encapsulante	Temperatura de Inicio de transición vítrea (°C)	Temperatura de Punto Medio de transición vítrea (Tg) (°C)
0,4	31,10 <sup>a</sup> ± 0,83	37,56 <sup>a</sup> ± 0,47
0,8	31,02 <sup>a</sup> ± 2,26	38,11 <sup>a</sup> ± 2,04
1,2	31,06 <sup>a</sup> ± 1,71	37,55 <sup>a</sup> ± 0,29
1,6	31,81 <sup>a</sup> ± 3,68	38,47 <sup>a</sup> ± 2,41
2,0	31,03 <sup>a</sup> ± 0,68	38,64 <sup>a</sup> ± 0,55
TM1,2	30,38 <sup>a</sup> ± 4,23	37,43 <sup>a</sup> ± 3,70

*Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 3$ ) ± DE.*

Los resultados de este estudio son distintos a los hallados por Hashib *et al.*, (2015), en cuya investigación, la concentración de ayudante de secado (15, 20 y 25% de maltodextrina DE-5), tuvo efectos sobre la temperatura vítrea de los polvos de piña. Cuanto mayor fue la relación entre maltodextrina y jugo de piña, mayor fue la temperatura de transición vítrea del producto encapsulado (un aumento en la concentración de maltodextrina del 15% al 20% elevó la temperatura de transición vítrea del polvo de piña de 149,24 a 152,90 °C). Estos autores explican que el efecto que tiene la maltodextrina sobre el aumento de la temperatura de transición vítrea del jugo se debe su alto peso molecular, lo que eleva dicha temperatura del jugo (Jittanit, 2010; Tonon *et al.*, 2009). Además, Goula y Adamopolous (2010), secaron zumo de

nararanja por aspersión, utilizando concentraciones de maltodextrina DE-6 de 2,5%, 5%, 10% y 40%, obteniendo un aumento en la temperatura de transición vítrea de 33 °C, 53 °C, 78 °C y 123 °C. Hashib *et al.*, (2015), aclara que debe tenerse en cuenta que DE6 tiene un peso molecular más bajo en comparación con DE-5, dando por resultado una temperatura de vidrio más baja.

En la presente investigación, tanto el comienzo de transición vítrea (Onset), como el punto medio de “Tg” (Midpoint), fueron menores para el zumo encapsulado en maltodextrina DE-10. En la **Figura 4** puede apreciarse que todos los tratamientos tuvieron el mismo comportamiento.



**Figura 4.** Temperatura de transición vítrea de los polvos obtenidos de zumo de lima atomizados con diferentes porcentajes de agente encapsulante de pulverizado de mesocarpo de pomelos y el testigo.

Según Bhandari *et al.*, (1997), la Tg de la glucosa es de 31 °C. De acuerdo a los resultados de este estudio, el azúcar principal que contienen los encapsulados es la glucosa, ya que se trata de zumos recién exprimidos, sin la adición de edulcorantes o azúcares. Lozano (2009), explica que los valores menores de Tg normalmente corresponden a sacáridos de bajo grado de polimerización. De acuerdo con Mani *et al.*, (2002), la presencia de azúcar (sacarosa, fructosa y glucosa) en el jugo de fruta, da como resultado una temperatura de transición vítrea baja, la temperatura a la cual un sólido amorfo comienza a cambiar de estado vítreo a un estado gomoso. De este modo, la pegajosidad de los polvos puede estar relacionada con la temperatura de transición vítrea del polvo. Con el fin de reducir la pegajosidad, la temperatura de

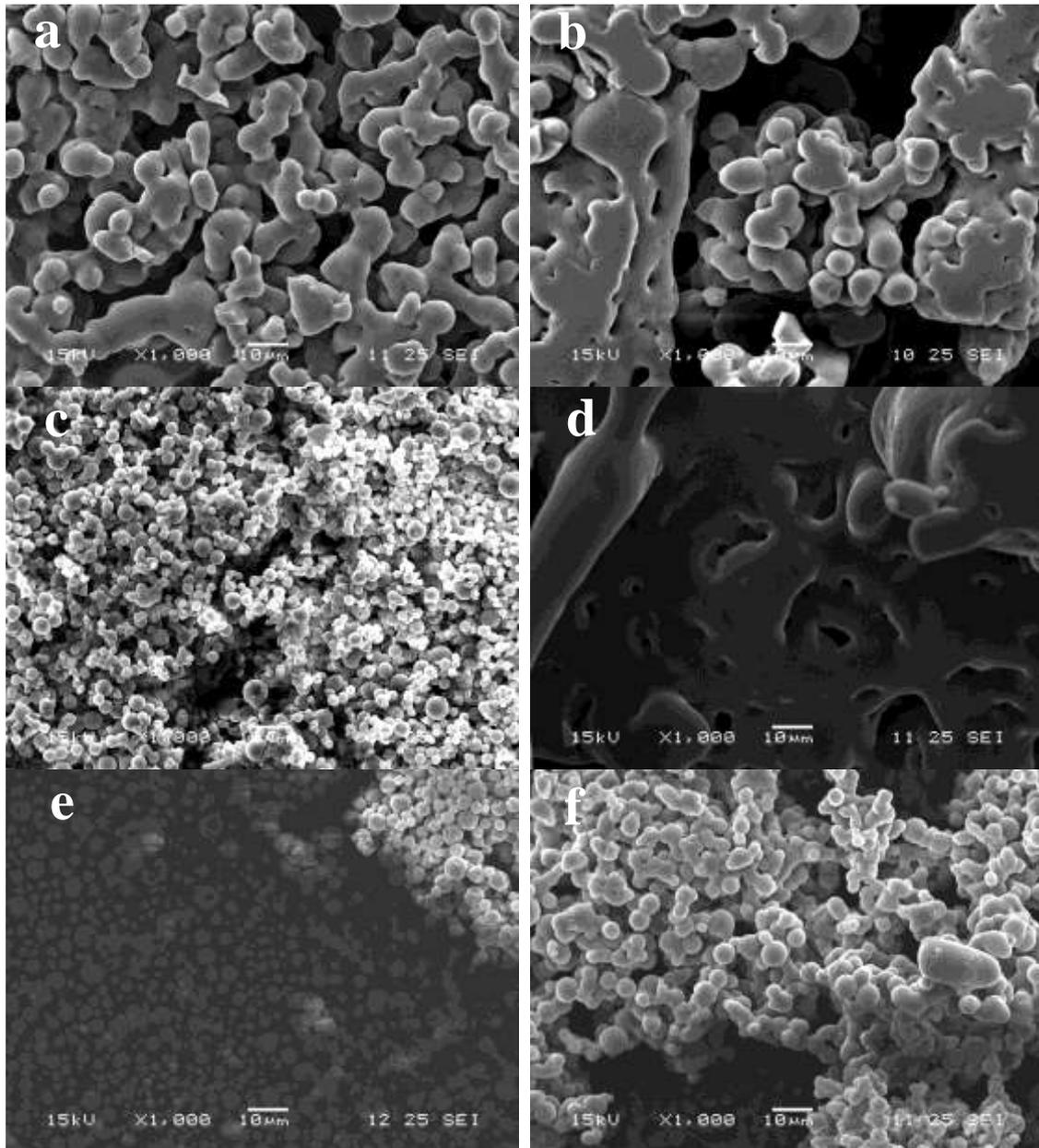
transición vítrea del jugo en polvo se puede manipular mediante la adición de agentes portadores tales como maltodextrina, una sustancia pulverulenta de alto peso molecular (Chegini y Ghobadian, 2007).

De acuerdo con Fang y Bhandari (2012), la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de polvos secados por pulverización es un indicador muy importante para evaluar si es probable que una gota / partícula se pegue a la pared del secador por pulverización. Según el análisis de la regla práctica de Bhandari *et al.*, (1997), la cual indica que generalmente la pegajosidad se produce si la temperatura de la gota / partícula es 20 °C por encima de su  $T_g$ , al sumar los 20°C a las  $T_g$  de los polvos de zumos de lima encapsulados (37,43 – 38,64°C), su temperatura pegajosa debía ser superior de 57,43 a 58,64°C, estos valores son superiores a la temperatura superficial típica de una partícula durante el secado por pulverización (40-50 °C, según Masters, 1991), este hecho indica que la recuperación de polvo debe ser alta. Fang y Bhandari (2012), lograron alcanzar estos valores adicionando cantidades mayores o iguales a 30% de maltodextrina DE-10 y reportan una recuperación de polvo de más del 50%; sin embargo, los valores de  $T_g$  de este estudio son mayores a los hallados por Fang y Bhandari (2012), en polvos de jugo de bayberry encapsulados en 0,5 – 10% de aislado de proteína de suero (14,12 - 15,34 °C) y similares a los encontrados por los mismos autores en polvos de jugo de bayberry encapsulados en 50% de maltodextrina DE-10 (37-38 °C).

### **3.7.- Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre la Morfología de las Partículas del Polvo del Zumo de Lima Encapsulado**

La **Figura 5** presenta las imágenes de las muestras de zumo de lima atomizadas con diferentes porcentajes de agente encapsulante de pulverizado de mesocarpio de pomelos y el testigo de maltodextrina DE-10, tomadas con un Microscopio Electrónico de Barrido. Se puede apreciar que las partículas de los zumos obtenidas en diferentes niveles del agente de recubrimiento tienen diferentes tamaños y formas (esféricas, irregulares y encogidas o reducidas), coincidiendo con lo observado por Bhusari *et al.*, (2014) en pulpa de tamarindo en polvo secada por pulverización utilizando 40, 50 y 60 % de maltodextrina DE-20 y de goma arábiga.

Los zumos atomizados en 1,2 y 2,0 % de encapsulante de mesocarpo y en 1,2 % de maltodextrina presentaron una forma esférica mejor definida. En estas partículas de polvo se observa una pared continua y ausencia de grietas en la superficie. Estos hallazgos también fueron reportados por Bhusari *et al.*, (2014) en pulpa de tamarindo en polvo secada por pulverización utilizando 40, 50 y 60 % de maltodextrina DE-20.



**Figura 5.** Fotografías MEB de las muestras de zumo de lima atomizadas con diferentes porcentajes de Agente Encapsulante de Pulverizado de Mesocarpo de Pomelos: (a) 0,4; (b) 0,8; (c) 1,2; (d) 1,6; (e) 2,0; (f) 1,2 % de Maltodextrina DE-10. Magnificación 1000X.

García-Cárdenas *et al.*, (2015) también informa haber encontrado esferoides casi completos sin prácticamente evidencia de microcápsulas rotas en un sabor cítrico

de mandarina encapsulado en diferentes materiales de cobertura. Explica que esta característica es indicativa de la buena estructura de las microcápsulas encontradas en el producto final (polvo).

Los demás porcentajes de encapsulante estudiados presentan formas muy variadas, siendo las de 1,6 % las menos parecidas a las demás y no presentando fracciones de partículas esféricas (forman agregados pegajosos). La morfología que exhiben los zumos atomizados en 0,4 y 0,8 % de encapsulante de pomelo es semejante a la observada por Lozano (2009), en muestras de zumo de *Opuntia stricta* atomizadas con una relación de fructooligosacárido Beneo P95/zumo de 1,8, mientras que las partículas del zumo atomizado a 1,6 % de pulverizado de mesocarpio de pomelos es más semejante a lo observado por el mismo autor utilizando relaciones del fructooligosacárido Beneo P95/zumo de 0,45 y 0,90.

### **3.8.- Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos sobre el Tamaño de las Partículas del Polvo de Zumo de Lima Encapsulado**

La **Tabla 7** contiene los valores medios para el tamaño de las partículas de los polvos obtenidos utilizando diferentes porcentajes de ayudante de secado.

**Tabla 7.-** Resultados para el Tamaño de las Partículas de Polvo del Zumo de Lima Encapsulado a distintas concentraciones de Agente de Recubrimiento.

Concentración Encapsulante	Diámetro de las Partículas ( $\mu\text{m}$ )
0,4	5,51 $\pm$ 0,54 <sup>b</sup>
0,8	6,20 $\pm$ 0,50 <sup>a</sup>
1,2	3,07 $\pm$ 0,52 <sup>c</sup>
1,6	6,08 $\pm$ 0,72 <sup>ab</sup>
2,0	5,61 $\pm$ 0,44 <sup>ab</sup>
TM1,2	5,75 $\pm$ 0,17 <sup>ab</sup>

Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 10$ )  $\pm$  DE.

En la tabla anterior se observa que la cantidad de agente de recubrimiento utilizada en los zumos de lima tuvo efecto sobre el diámetro de las partículas de los polvos resultantes, sin embargo, no hubo un comportamiento lineal. Este hecho podría ser debido a que el tamaño de las partículas sufre cambios durante el secado por aspersión, que han sido relacionados con el contenido de humedad (Ray *et al.*, 2016) y la alta concentración de sólidos de la solución (Bimbenet *et al.*, 2002).

Los resultados de este estudio son distintos a los hallados por Hashib *et al.*, (2015), en cuya investigación, el tamaño de partícula de los polvos de piña disminuyó con el aumento del contenido de encapsulante (15, 20 y 25% de maltodextrina DE-5).

Villacrez (2013), encontró que el tamaño de partícula depende directamente del agente encapsulante y de la forma que interactúa con el material activo y no del diámetro interno de la boquilla de aspersión que se use para el proceso de secado.

En la **Tabla 7** se aprecia que el rango obtenido para el diámetro de las partículas de los polvos de zumo de lima fue de  $3,07 \pm 0,52$  a  $6,20 \pm 0,50$   $\mu\text{m}$ , encontrándose dentro de los valores considerados para los productos deshidratados por aspersión: 3 – 100  $\mu\text{m}$ , según Ray *et al.*, (2016) y menores de 40  $\mu\text{m}$ , según Zuidam y Heinrich (2009).

Los valores hallados para las partículas de zumo de lima atomizado, son mayores a los reportados por García-Cárdenas *et al.*, (2015), en sabor cítrico de mandarina encapsulado utilizando 32 % de una mezcla de diferentes materiales de cobertura (maltodextrina 10DE, goma arábica y proteína de soja), que oscilaron entre 0,6 y 2,7  $\mu\text{m}$ .

Sólo el tamaño del polvo obtenido con 1,2% de ayudante de secado de mesocarpio de pomelo es semejante a los resultados reportados por Paramita *et al.*, (2010), para limoneno encapsulado mediante combinaciones de goma arábica, maltodextrina y un agente emulsionante (1,41 - 3,43  $\mu\text{m}$ ) y Soottitantawa *et al.* (2005), para d-limoneno encapsulado usando una mezcla de goma arábica y maltodextrina (0,84 a 3,37  $\mu\text{m}$ ).

Ordoñez y Herrera (2014), reportan tamaños de partículas de 4 a 17  $\mu\text{m}$  para matrices encapsuladas en goma arábica con fécula de yuca y limoneno 50:50 y de 1,5 a 14  $\mu\text{m}$  para matrices encapsuladas en goma arábica con fécula de yuca y limoneno 17:83. Además, obtuvieron tamaños de partículas de 2 a 13  $\mu\text{m}$  para matrices encapsuladas en concentrado de proteína de suero y concentrado de proteína de suero con fécula de yuca y limoneno y de 1 a 9  $\mu\text{m}$  para goma arábica con limoneno.

## 4. Conclusiones

Las concentraciones de pulverizado de mesocarpio de pomelo (*Citrus paradisi* Macf), utilizadas en esta investigación (0,4; 0,8; 1,2; 1,6 y 2,0 %), afectan significativamente las características fisicoquímicas evaluadas (pH, actividad de agua, acidez titulable y sólidos solubles), del zumo de lima persa secado por aspersión. Al elevar la cantidad de agente de recubrimiento aumenta el pH y disminuyen la acidez y la actividad de agua del zumo encapsulado.

Las distintas concentraciones de pulverizado de pomelo empleadas afectan significativamente 3 de las 4 características nutricionales estudiadas en el zumo de lima encapsulado (porcentajes de humedad y cenizas y contenido de hidratos de carbono), mientras que estas cantidades no tienen efecto sobre el contenido proteico de los zumos.

El empleo de diferentes cantidades de pulverizado de mesocarpio de pomelo ejerce influencia significativa sobre los componentes bioactivos (compuestos fenólicos totales, contenido de flavonoides y contenido de ácido ascórbico), del zumo de lima encapsulado. A medida que se aumenta la concentración de auxiliar de secado, también se eleva el contenido de componentes bioactivos.

Los panelistas encontraron diferencias en las características organolépticas (color, olor y sabor) del zumo de lima encapsulado evaluadas en todos los tratamientos, siendo estas más marcadas en el sabor, color y olor, respectivamente.

El rendimiento del zumo de lima encapsulado es significativamente influenciado por el empleo de diferentes concentraciones de pulverizado de mesocarpio de pomelo (0,4; 0,8; 1,2; 1,6 y 2,0 %).

La cantidad de encapsulante utilizada en los zumos de lima persa no modificó la temperatura de transición vítrea de los polvos obtenidos al secarlos por aspersión.

Al aplicar diferentes niveles de agente de recubrimiento en los zumos de lima, se obtienen partículas de polvo con distintos tamaños y formas (esféricas, irregulares y

encogidas o reducidas).

De las dosis utilizadas en esta investigación se determina como mejor, el tratamiento con 1,2 % de pulverizado de mesocarpio de pomelo como encapsulante.

## **5. Agradecimientos**

A la Universidad Internacional de la Florida, por el auspicio de los análisis de microscopía electrónica de barrido. A la Universidad de Murcia y la Universidad Politécnica de Cartagena, por el auspicio de los análisis de calorimetría diferencial.

## 6. Referencias

1. Abadio, F., Domingues, A., Borges, S. y Oliveira, V. 2004. Physical Properties of Powdered Pineapple (*Ananas comosus*) Juice - Effect of Maltodextrin Concentration and Atomization Speed. *Journal of Food Engineering* 64:285-287.
2. Alcántara, Y., Escotto, A. y Alcantara, Y. 2014. Efecto de dos Métodos de Deshidratación y dos Grosos de Lámina de Mesocarpo de Toronja Criolla (*Citrus paradisi* Macf) sobre Características Fisicoquímicas de un Agente Encapsulante. Reporte Profesional Postgrado. Universidad ISA.
3. Alcantara, Y. y Tejada, J. 2012. Establecimiento de Protocolos para la Conservación de Ácidos Naturales de Cítricos. FONDOCYT, República Dominicana.
4. AOAC International: "Official Methods of Analysis". 2000. 17ªed. Gaithersburg, USA.
5. AOCS. 1990. In: Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society (4th ed.). Champaign: American Oil Chemists' Society.
6. Arellano, C. 2011. Extracción de Luteína a partir de Flores de Tagete (*Tagete erecta*) y Estabilización por Microencapsulación. Tesis de grado. Universidad de Chile. [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/qf-arellano\\_ca/pdfAmont/qf-arellano\\_ca.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/qf-arellano_ca/pdfAmont/qf-arellano_ca.pdf)
7. Badillo, P. 2011. Estudio Comparativo del Potencial Nutritivo del Limón Persa (*Citrus latifolia tanaka*) Deshidratado en Secador de Bandejas y en Microondas. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Identifier: UDCTFC; 56T00258.
8. Beristain, C. 1996. Estudio de las Propiedades Termodinámicas de Microencapsulados por Hidrocoloides Naturales Obtenidos por Secado por Aspersión y de la Relación con su Estabilidad. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. ID oai:tesiuami.izt.uam.mx :921.
9. Bhandari, B., Datta, N. y Howes, T. 1997. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15(2), 671-684.
10. Bhusari, S. N., Muzaffar, K., & Kumar, P. 2014. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder technology*, 266, 354-364.
11. Bimbenet, J. J., Bonazzi, C., & Dumoulin, E. (2002). Drying of foodstuffs. Drying 2002- In: Proceeding of the 13th international drying symposium, pp. 64-80.

12. Bonazzi, C. y Dumoulin, E. 2011. Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. Modern Drying Technology Volume 3: Product Quality and Formulation. First Edition. Edited by Evangelous Tsotsas and Arun S. Mujumdar.
13. Bustos, C. Yáñez, J. y Barragán, B. 2013. Thermal and pH Stability of Spray-dried Encapsulated Astaxanthin Oleoresin from *Haematococcus pluvialis* Using Several Encapsulation Wall Materials. Food Research International 54:641–649.
14. Caez, K. y Jaraba, N. 2012. Microencapsulación del Jugo de Mango (*Mangifera indica* L.) para la Obtención de un Concentrado con la Utilización de Maltodextrina como Material Pared. Tesis de Grado. Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias D. T. y C.
15. Caliskan, G. y Dirim, N. 2013. The Effects of the Different Drying Conditions and the Amounts of Maltodextrin Addition During Spray Drying of Sumac Extract. Food and Bioproducts Processing 91:539-548.
16. Cardona, J., Hee, L. y Talcott, S. 2009. Color and Polyphenolic Stability in Extracts Produced from Muscadine Grape (*Vitis rotundifolia*) Pomace. J Agric Food Chem 57 (18): 8421-5.
17. Carrillo, H., González, D., Cruz, J., Barrera, J., Román y A., Pérez, C. 2011. Storage Stability and Physicochemical Properties of Passion Fruit Juice Microcapsules by Spray-drying. Revista Mexicana de Ingeniería Química 10 (3):421-430.
18. Castañeta, H., Gemio, R., Yapu, W. y Nogales, J. 2011. Microencapsulación, un Método para la Conservación de Propiedades Físicoquímicas y Biológicas de Sustancias Químicas. Revista Boliviana de Química. Volumen 28(2): 135-140.
19. Castro, R. 2014. Efecto del Secado por Aspersión en la Estabilidad de Componentes Bioactivos de Tuna Morada (*Opuntia ficus-indica*). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México, Distrito Federal. <http://hdl.handle.net/123456789/19733>.
20. Chegini, G., y Ghobadian, B. 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. World Journal of Agricultural Sciences, 3(2), 230-236.
21. Cortés, R. y Chiralt, A. 2008. Cinética de los Cambios de Color en Manzana Deshidratada por Aire Fortificada con Vitamina E. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquía. Medellín, Colombia.
22. Couto, R., Conceiao, E., Chaul, L., Oliveira, E., Martins, F., Bara, M., Rezende, K., Alves, S. y Paula, J. 2011. Spray-dried Rosemary Extracts: Physicochemical and Antioxidant Properties. Facultad de Farmacia. Universidad Federal de Goiás, Brazil.
23. Desobry, S., Netto, F. y Labuza, T. 1997. Comparison of Spray-drying and Freeze Drying for  $\beta$ -carotene Encapsulation and Preservation. Journal of Food Science.

24. Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P. y Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Analytical Chemistry*, 28(3); 350-356.
25. Fang, Z. y Bhandari, B. 2012. Comparing the Efficiency of Protein and Maltodextrin on Spray Drying of Bayberry Juice. *Food Research International* 48:478-483.
26. Fazaeli, M., Emam, Z., Kalbasi, A. y Omid, M. 2012. Effect of Spray Drying Conditions and Feed Composition on the Physical Properties of Black Mulberry Juice Powder. *Food and Bioprocess Technology* 90:667-675.
27. Fellows, P. 2006. *Tecnología de Procesamiento de Alimentos: Principios y Prácticas*. Segunda Edición. Puerto Alegre.
28. Fennema, O. 1993. *Química de los Alimentos*. Ed. Acribia, S. A. Zaragoza, España. 1095 p.
29. García-Cárdenas, J., Ciro-Velásquez, H. y Largo-Ávila, E. 2015. Encapsulation of mandarin *Citrus* flavor using spray drying technology and different wall materials. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 251-260.
30. González, H., González, S. y Rosales, T. 2011. Caracterización de Compuestos Volátiles Durante el Secado por Aspersión de Jugo de Sandía (*Citrullus lanatus* T.). *Investigación y Ciencia* 51(19): 10-15.
31. Gouin, S. 2004. Microencapsulation Industrial Appraisal of Existing Technologies and Trends. *Trends in Food Science & Technology*, 15: 330-347.
32. Goula, A., y Adamopoulos, K. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.
33. Hart, F. y Fisher, H. 1971. *Análisis Moderno de los Alimentos*. Editorial Acribia. I.S.B.N.:84-200-0297-6.
34. Hashib, S., Rahman, N., Suzihaque, M., Ibrahim, U., y Hanif, N. 2015. Effect of Slurry Concentration and Inlet Temperature towards Glass Temperature of Spray Dried Pineapple Powder. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2660-2667.
35. Hung, C. y Yen, G. 2002. Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Isolated from Mesona Procumbens Hemsl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 10, p. 2993 -2997.
36. ICONTEC. 2007. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Análisis Sensorial. Metodología. Guía Técnica Colombiana (GTC 165, 2007-08-29)*.
37. Jittanit, W., Niti-Att, S. y Techanuntachaikul, O. 2010. Study of Spray Drying of Pineapple Juice Using Maltodextrin as an Adjunct
38. Jun-xia, X., Hai-yang, Y. y Jian, Y. 2011. Microencapsulation of Sweet Orange Oil by Complex

- Coacervation with Soybean Protein Isolate/gum Arabic. *Food Chem* 125; 1267-1272.
39. Kimball, D. 2002. *Procesado de Cítricos. Segunda Edición*. Acribia, Zaragoza – España. ISBN: 978842000 9650.
40. Liu, M., Li, X., Weber, C., Lee, C., Brown, J. y Liu, R. 2002. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Raspberries. *J. Agric. Food Chem.* 50:2926-2930.
41. Liu, Y. 2014. *Starch-Pectin Matrices for Encapsulation of Ascorbic Acid*. Dissertations & Theses in Food Science and Technology Department. Universidad de Nebraska. Lincoln.
42. López, B., Carvajal, L. y Millan, L. 2009. Establishing of the Conditions of the Blend of Pulp with Banana (*Musa paradisiaca* L.) to Submit Spray Drying. Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia. ISSN 0121-4004, ISSNe 2145-2660. 16 (3), 287-296.
43. Lozano, M. 2009. *Obtención de Microencapsulados Funcionales de Zumo de Opuntia stricta Mediante Secado por Atomización*. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Cartagena.
44. Mani, S., Jaya, S., y Das, H. 2002. Sticky issues on spray drying of fruit juices. In ASAE/CSAEC North Central Intersectional Meeting, Parktown Hotel, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, September (pp. 27-28).
45. Marqués, L., Ferreira, M. y Freire, J. 2007. Freeze-drying of Acerola (*Malpighia glabra* L.). *Chemical Engineering Process.* 46:451-457.
46. Masters, K. 1991. *The spray drying handbook*. New York: Longman Scientific and Technical.
47. Méndez, C. 1972. *Ensayos de Deshidratación por Rociada del Jugo de Limón Sutil*. Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú).
48. Mendoza, F. 2015. *Evaluación de las Condiciones de Secado por Aspersión de un Producto a Base de Lactosuero y Pulpa de Mango Variedad Magdalena River (Mangífera indica) Adicionado con Bifidobacterium bifidum*. Tesis Máster en Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Córdoba.
49. Mendoza, L. 2003. *Evaluación de los Carotenoides Presentes en la Cáscara de Naranja (Citrus sinensis L.) variedad California (Washington novel) y Pineapple Criolla*. Trabajo de Grado. UNESR. Caonabo, Venezuela.
50. Mishra, P., Mishra, S. y Lata, M. 2013. Effect of Maltodextrin Concentration and Inlet Temperature During Spray Drying on Physicochemical and Antioxidant Properties of Amla (*Emblica officinalis*) Juice Powder. *Food and Bioproducts Processing* 21:428-434.
51. Mongenot, N., Charrier, S. y Chaliier, P. (2000). Effect of Ultrasound Emulsification on Cheese Aroma Encapsulation by Carbohydrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:861-867.

52. Naddaf, L., Avalo, B. y Oliveros, M. 2012. Secado por aspersión de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 35(1), 20-27.
53. Ordoñez, M., & Herrera, A. (2014). Morphologic and stability cassava starch matrices for encapsulating limonene by spray drying. *Powder technology*, 253, 89-97.
54. Paramita, V.; Furuta, T. y Yoshiia, H. 2010. Microencapsulation efficacy of d-Limonene by spray drying using various combinations of wall materials and emulsifiers. *Food Sci. Tech. Res.* 16 (5):365372.
55. Peng, Z., Li, J., Guan, Y. y Zhao, G. 2013. Effect of Carriers on Physicochemical Properties, Antioxidant Activities and Biological Components of Spray-dried Purple Sweet Potato Flours. *Food Science and Technology* 51:348-355.
56. Queck, S., Chok, N. y Swedlund, P. 2007. The Physicochemical Properties of Spray Dried Watermelon Powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46 (5): 386-392.
57. Ray, S., Raychaudhuri, U. y Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76-83.
58. Reyes, A., Castillo, J. y Vásquez, A. 2014. Determinación de Actividad Antioxidante y Microencapsulación de Compuestos Activos de *Opuntia ficus-indica*. España.
59. Rivas, C. 2010. Microencapsulación y Estabilización Enzimática del Jugo de Chirimoya (*Annona cherimola* Mill). Instituto Politécnico Nacional. México.
60. Rocca, P. 2010. Secado de Alimentos por Métodos Combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. Tesis de Maestría. Buenos Aires.
61. Rodríguez, G., González, R., Grajales, A. y Ruiz, M. 2005. Spray-drying of Cactus Pear Juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the Physicochemical Properties of Powder and Reconstituted Product. *Drying Technology*, 23, 955-973.
62. Romero, A., Lamuela, R., Andres, C. y de La Torre, M. 2001. Methods for the Quantitative Extraction of Resveratrol and Piceid Isomers in Grape Berry Skins. Effect of Powdery Mildew on the Stilbene Content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 210-215.
63. Sáenz, C., Tapia, S., Chávez, J., y Robert, P. 2009. Microencapsulation by Spray Drying of Bioactive Compounds from Cactus Pear (*Opuntia ficus-Indica*). *Food Chemistry*, 114 (2): 616-622.
64. Sahin, H., Dinçer, C., Torun, M., Topuz, A. y Özdemir, F. 2013. Influence of Inlet Air Temperature and Carrier Material on the Production of Instant Soluble Sage (*Salvia fruticosa* Miller) by Spray Drying. *Food Science and Technology* 52:31-38.

65. Sansone, F., Mencherini, T., Picerno, P., d'Amore, M., Aquino, R. y Lauro, M. 2011. Maltodextrin/Pectine Microparticles by Spray Drying as Carrier for Nutraceutical Extracts. *Journal of Food Engineering* 105: 468-476.
66. Sootitawat, A.; Bigeard, F.; Yoshii, H.; Furuta, T.; Ohkawara, M.; Linkod, P. 2005. Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated d-limonene by spray drying. *Innovative Food Sci. Emerging Tech.* 6(1):107-114.
67. Tonon, R., Baroni, A., Brabet, C., Gibert, O., Pallet, D. y Hubinger, M. 2009. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. *Journal of Food Engineering*, 94(3), 215-221.
68. Tonon, R., Brabet, C. y Hubinger, M. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai powder produced by spray drying. *J Food Eng* 8:411-418.
69. Torres, M. 2009. Deshidratación de Productos Derivados de la Uva y Estudio de su Calidad y Estabilidad. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real.
70. Vergara, F., Guerrero, J. y Salazar, C. 2009. Evaluación de Agentes Antioxidantes de un Extracto de Flor de Jamaica Microencapsulado. Universidad de las Américas. Puebla, México.
71. Villacrez, L. (2013). Desarrollo de microencapsulados por spray drying a partir de frutos de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) (Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia).
72. Von, E. y Schwartz, S. 1996. Colorants. In O.R. Fennema (Ed.). *Food Chemistry*. New York: Marcel Dekker.
73. Wagner, L. y Wathesen, J. 1995. Stability of Spray-dried Encapsulated Carrot Carotenes. *Journal of Food Science*, 60(5), 1049-1053.
74. Zapata, K., Rojano, B. y Cortes, F. 2015. Efecto Térmico del Secado por Aspersión sobre los Metabolitos Antioxidantes de la Curuba Larga (*Passiflora mollissima* Baley). *Información tecnológica*, 26(1), 77-84.
75. Zuidam, N. J., & Heinrich, E. (2010). Encapsulation of aroma. In *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing* (pp. 127-160). Springer New York.

**-Capítulo 3**

***Caracterización del Zumo de Lima (Citrus latifolia Tanaka) Encapsulado a Diferentes Temperaturas de Entrada, Presiones de Aire de Atomización y Caudales de Alimentación en Mesocarpo de Pomelo (Citrus paradisi Macf) Pulverizado como Ayudante de Secado***

## 1. Introducción

El cultivo de lima Persa (*Citrus latifolia* Tanaka), constituye una especie de importancia comercial en República Dominicana. Entre los países productores están: México, India, Argentina, España, Estados Unidos, República Dominicana, Venezuela, Irán, Italia, Brasil, entre otros. México es el mayor productor y exportador de lima persa del mundo (Castellano y cols., 2016). Según el Ministerio de Agricultura de la República Dominicana (2017), la superficie sembrada en el país durante el 2016 fue de 10.632 tareas. En ese mismo año, dicho Ministerio registra un área de 115.910 tareas cosechadas de lima.

*C. Latifolia* Tanaka es clasificada como una especie de lima ácido. Sus frutos son de forma ovalada, sin semillas (partenocárpicos), con un peso promedio de 70 g, su cáscara es de color verde a amarillo, de espesura fina; la pulpa es de color amarillo verdoso con abundante jugo (aproximadamente 50% del peso del fruto), sólidos solubles de 9° Brix, y acidez de 6%. La calidad de los frutos es de fundamental importancia, ya sea para el mercado de frutas frescas o para la industrialización (Armadans y Ruiz, 2009).

Este cítrico, al igual que los demás, presenta estacionalidad en su producción, reflejándose en el comportamiento de los precios. Se cosecha después de la maduración de sus frutos ya que, como toda fruta no climatérica, sólo se pone blando si se colecta verde. La corta vida de anaquel de estas especies ocasiona pérdidas y puede influir negativamente en el comercio y en la confianza de los consumidores (Alcantara y Tejada, 2012).

Una de las formas de contribuir a la conservación de las características del zumo de lima persa y de disminuir la variabilidad en el comportamiento del precio de la fruta, es mediante secado por aspersión. Este es el proceso de la eliminación de la humedad del material sólido cuando se aplica calor rápido. Es un tipo de deshidratación controlada por factores como la humedad, la temperatura y la velocidad (Hashib *et al*, 2015). Es uno de los métodos más comunes dentro de las tecnologías de secado, que ofrecen un mayor margen para la producción de los polvos

---

secados de mejor calidad (Sagar y Kumar, 2010). Resulta en polvos con buenas características reconstitucionales, baja actividad de agua y adecuadas para el almacenamiento. Las características o propiedades de los polvos secados por aspersión dependen de las características de la alimentación (tipo de agente encapsulante y su concentración) y la condición de secado (Tonon *et al.*, 2010).

Sin embargo, las aplicaciones de este proceso en jugo de frutas y verduras son muy limitadas. El alto contenido de azúcar principalmente azúcares reductores, glucosa y fructosa, y la acidez en el zumo de fruta constituyen un problema. En los niveles de humedad bajos, los productos son muy higroscópicos, recogiendo rápidamente la humedad del aire volviéndose pegajosos y, por lo tanto, difíciles de manejar (Cynthia *et al.*, 2015). La viscosidad de los jugos de fruta en polvo (debida en parte al contenido de azúcares como la sacarosa, la fructosa y la glucosa), puede complicar el proceso de secado por pulverización en términos de bajo rendimiento del producto, desgaste del equipo y problemas operacionales debido a que los polvos se pegan al equipo (Hashib *et al.*, 2015).

Algunos enfoques disponibles para reducir el problema de adhesividad incluyen procedimientos basados en procesos (uso de baja temperatura de salida y baja humedad del aire) y materiales basados en la ciencia (uso de ayudantes de secado de alto peso molecular) (Bhandari, *et al.*, 1997). Además, las propiedades del producto final dependen principalmente de la temperatura de entrada, del caudal de aire, del caudal de alimentación, de la velocidad del atomizador, de los tipos de agentes portadores y de su concentración (Patil *et al.*, 2014).

Considerando que la selección de materiales de recubrimiento para la microencapsulación mediante secado por pulverización implica procedimientos de ensayo y error (Ray *et al.*, 2016), Alcántara *et al.*, 2014, obtuvieron y caracterizaron el pulverizado de mesocarpo de pomelos deshidratado en horno de bandejas, para su posible inclusión como agente encapsulante. Encontraron que presentó la apariencia y características fisicoquímicas adecuadas para ser considerado como tal. Posteriormente, Alcántara *et al.*, 2015, evaluaron diferentes concentraciones de ese producto en el secado por aspersión del zumo de lima persa, como alternativa a los encapsulantes

existentes en el mercado, para así aprovechar un subproducto generado en el procesamiento industrial del pomelo, agregarle valor y posibilitar la industrialización y comercialización de un producto alternativo más duradero y que conserve al máximo las propiedades del zumo encapsulado.

En este contexto y como una continuidad a los estudios mencionados, el objetivo de la presente investigación fue optimizar el proceso y caracterizar el jugo de lima (*Citrus latifolia* Tanaka) encapsulado en pulverizado de mesocarpio de pomelos (*Citrus paradisi* Macf), a diferentes temperaturas de entrada, presiones de aire de atomización y caudales de alimentación.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1.- Tipo de Estudio y Diseño Experimental

Esta investigación fue experimental. Para su realización, se evaluó el efecto de la temperatura de entrada (125, 135 y 145 °C), la presión de atomización (4,00; 4,21 y 4,42 kg/cm<sup>2</sup>) y la alimentación (0,80; 0,85 y 0,90 L/h), sobre el rendimiento, pH, actividad de agua, sólidos solubles, humedad, proteínas, cenizas, hidratos de carbono, ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y temperatura de transición vítrea del zumo de lima persa encapsulado en 1,2% de pulverizado de mesocarpio de pomelo como material de recubrimiento y secado por aspersión. Además, se evaluó la diferencia organoléptica y la morfología de las partículas de polvo obtenidas. Se utilizaron diseños completamente aleatorizados simultáneos, con un testigo para cada caso (utilizando 1,2% de maltodextrina DE-10 como ayudante de secado), totalizando doce tratamientos. Cada experimento, incluyendo al testigo, fue realizado 3 veces.

El modelo estadístico aplicado fue:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + \epsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Respuesta esperada

$\mu$  = Media General

$E_i$  = Efecto de las condiciones de proceso para el secado ( $i$ = temperatura de entrada: 125, 135 y 145 °C; presión de atomización: 4,00; 4,21 y 4,42 kg/cm<sup>2</sup>; alimentación: 0,80; 0,85 y 0,90 L/h)

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental.

## **2.2. - Materias Primas**

Los frutos de *C. latifolia* Tanaka fueron adquiridos en Santiago de los Caballeros, República Dominicana y se empleó el ayudante de secado obtenido según la metodología de Alcántara *et al.*, (2014), además de maltodextrina DE-10 para la encapsulación del tratamiento testigo.

## **2.3.- Proceso para la encapsulación de los zumos de lima (*Citrus latifolia* Tanaka)**

Los frutos de *C. latifolia* Tanaka fueron recibidos en la Planta de Procesamiento de Alimentos de la Universidad ISA, donde fueron pesados y seleccionados de acuerdo al color, tamaño y apariencia (sin defectos físicos). Recibieron una desinfección con una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm y fueron escurridos durante 10 minutos. Luego fueron pesados, partidos en dos mitades y se extrajo el zumo con exprimidores manuales, el cual fue filtrado utilizando un tamiz Tyler N° 32 Mesh.

Los tratamientos fueron preparados adicionando 0,5 % de fosfato tricálcico como antiadherente (para evitar la pegajosidad y disminuir la higroscopicidad del producto encapsulado) y 1,2 % de agente encapsulante (pulverizado de mesocarpio de pomelo para los estudios mencionados en el apartado 2.1 y maltodextrina DE-10 para el testigo). Los porcentajes se establecieron en base al zumo de lima. Se mezcló en una batidora eléctrica Osterizer 4655, a velocidad máxima durante 1 minuto, se filtró en un tamiz Tyler N° 32 Mesh, para retener cualquier posible partícula y evitar obstrucciones en la aguja para atomización del deshidratador y se procedió al proceso de secado en un Deshidratador por Aspersión YC-015 SD.

Las condiciones de secado fueron: temperatura del aire de entrada: 125, 135 y 145 °C; presión de atomización (4,00; 4,21 y 4,42 kg/cm<sup>2</sup>); caudal de alimentación: 0,80; 0,85 y 0,90 L/h. La temperatura del aire de salida (75 °C) y el tamaño de partículas, según el tamaño de la boquilla (0,7 mm) se mantuvieron constantes.

El polvo obtenido fue empacado inmediatamente y sellado en bolsas para empaque a vacío. Se conservó a 25 °C hasta su evaluación.

#### **2.4.- Variables Evaluadas**

##### **Rendimiento**

Fue evaluado usando la metodología descrita por Lozano (2009), aplicando el siguiente cálculo:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Gramos obtenidos}}{\text{Gramos ofertados}} \times 100$$

Los valores de gramos ofertados se calcularon a partir de los gramos de material y el volumen de zumo utilizados como material de partida, de acuerdo con la próxima ecuación:

$$\text{Gramos ofertados} = g \text{ material} + \text{Vol. zumo (L)} \times [\text{Zumo}] (\text{°Brix}) \times 10$$

##### **pH**

Esta determinación se realizó por potenciometría, a una temperatura de 20 °C mediante el uso de un pH-metro Hach Sension<sup>+</sup> Ph1 5050t; se pesó 1 g del zumo encapsulado, se disolvió en 10 ml de agua destilada, se introdujo el electrodo en la solución y se anotó la lectura.

##### **Actividad de Agua (Aw)**

Se determinó mediante un medidor Rotronic Hygro-Palm HP23, colocando 1g de zumo de lima secado por aspersion en la celda del aparato y esperando a que la lectura se estabilice.

##### **Sólidos Solubles**

Se determinaron utilizando el método refractométrico 11-15 de Hart y Fisher (1971): 1 g del zumo encapsulado fue disuelto en 10 ml de agua destilada, se colocaron

3 gotas de esta disolución sobre el prisma del refractómetro ATAGO (con escala de 0-32°Brix) previamente calibrado con agua destilada y se tomó la lectura.

### **Humedad**

Fue evaluada mediante el método 934.01 de la AOAC internacional descrito a continuación: se pesó 7,5 g de muestra, se colocó en un horno de secado Quincy Lab Modelo-30 a 105 °C por 12 horas. Se dejó enfriar la muestra en un desecador, se pesó nuevamente y se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100$$

### **Proteínas**

Fueron determinadas con el método 2001.11 de la AOAC internacional. Se pesó 2 g de cada muestra para su evaluación y se determinó su contenido de nitrógeno total, después de ser digeridas con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador. Se empleó una unidad de digestión y destilación Kjeldahl y luego de destilar se tituló con una solución estándar de ácido clorhídrico. Finalmente se realizaron los cálculos siguientes:

$$\text{Nitrógeno en la muestra (\%)} = 100 \left[ \frac{(A \times B)}{C} \times 0,014 \right]$$

$$\text{Proteína cruda (\%)} = \text{Nitrógeno en la muestra} \times 6,25$$

A = Ácido clorhídrico usado en la titulación (ml)

B = Normalidad del ácido estándar

C = Peso de la muestra (g)

### **Cenizas**

Se utilizó el método 923.03 de la AOAC internacional, que consiste en colocar 3,5 g de muestra en un crisol de porcelana con peso constante y calcinarlo en una mufla a 550 °C por 12 horas; dejar enfriar, pasarlo a un desecador, pesar nuevamente el crisol con las cenizas y calcular:

---

$$\text{Contenido de ceniza (\%)} = 100 \left( \frac{\text{Peso muestra} - \text{Peso ceniza}}{\text{Peso muestra}} \right)$$

### **Hidratos de Carbono**

Se determinaron aplicando el método del fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956), cuyo procedimiento es: pesar la muestra seca, transferirla cuantitativamente a una probeta graduada, adicionarle agua destilada y agitar. Luego, colocar la dispersión de la muestra en tubos de ensayo y adicionarle una solución acuosa de fenol al 5 %. Mezclar bien, adicionar ácido sulfúrico concentrado, homogeneizar y dejar enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, determinar la intensidad del color naranja obtenido en un colorímetro a 480 nm, frente a un blanco preparado de la misma manera utilizando agua. Calcular la cantidad de carbohidratos presentes en la muestra a partir de una curva patrón preparada con el carbohidrato de interés, tratada de la misma manera que el problema.

### **Ácido Ascórbico**

Fue evaluado por el método reportado por Hung y Yen (2002). Se preparó la curva de calibración utilizando ácido ascórbico, ácido oxálico y agua destilada. Se ajustó la absorbancia a cero, se prepararon las muestras (100  $\mu\text{L}$  de extracto acuoso, con 900  $\mu\text{L}$  de 2,6 diclorofenolindofenol) y se midió la vitamina C en el espectrofotómetro HACH DR 3900, a una longitud de onda de 515 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico equivalentes por gramo de muestra.

### **Compuestos Fenólicos Totales**

Se empleó la técnica de Folin-Ciocalteu (AOCS, 1990), que consiste en preparar primero la curva de calibración utilizando una solución estándar de ácido gálico (0,1  $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ ); luego diluir las muestras en agua destilada, adicionar el reactivo de Folin-Ciocalteu 1N. A continuación, adicionar  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20 % y dejar reposar por 2 horas. Para la determinación de fenoles en la muestra se midió la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro HACH DR 3900. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalentes por g de muestra.

### **Contenido de Flavonoides**

Fue determinado con el método de Liu *et al.*, 2002: se preparó una curva de calibración utilizando una solución estándar de quercetina ( $0.1 \text{ mg.ml}^{-1}$ ); se pesó la muestra, se disolvió en agua destilada y luego se diluyó. Después se adicionó  $\text{NaNO}_2$  al 5 % y se dejó reposar 6 minutos. Se adicionó  $\text{AlCl}_3$  al 10 % y se dejó reposar 5 minutos. Luego se adicionó  $\text{NaOH}$  1M y finalmente se completó el volumen a 2,5 ml con agua destilada. A continuación, se midió la absorbancia a 510 nm inmediatamente antes de 30 minutos, usando un espectrofotómetro HACH DR 3900. Los resultados fueron expresados en mg de quercetina equivalentes por g de muestra.

### **Características Sensoriales**

Las características sensoriales (color, olor y sabor) se evaluaron aplicando una prueba de comparación pareada a 10 panelistas: 5 hombres y 5 mujeres. Según el ICONTEC (2007), esta es una prueba en la cual se presentan las muestras en pares para la comparación y detección de diferencias sobre la base de algunos criterios definidos. Este tipo de prueba presenta la ventaja de su sencillez y menor fatiga sensorial y se recomienda para determinar si existe o no una diferencia perceptible en un atributo particular (por ejemplo, dulzor) o para comparar dos productos en términos de preferencia en el contexto de pruebas de consumidor.

El procedimiento seguido se describe a continuación:

- a) Preparación de las muestras: primero se reconstituyó el polvo adicionando 10 ml de agua destilada a 1 gramo de polvo; luego se diluyó el jugo reconstituido en una proporción 1:10 con agua destilada.
- b) Se codificaron los envases donde se presentarían las muestras a los panelistas y se colocó en cada uno 20 ml de la muestra correspondiente, a temperatura de 4 a 10 °C.

La evaluación se realizó a las 3:00 p.m. A cada panelista se le pidió que indicara si encontraba diferencia en los atributos (color, olor, sabor). Cada tratamiento fue comparado con el testigo de zumo de lima persa recién exprimido manualmente.

### Medidas de calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Estas medidas se realizaron utilizando un DSC 822e Mettler-Toledo (Barcelona, España) (**Figura 1**), equipado con accesorios de enfriamiento con nitrógeno líquido. Se pesaron 10 mg de polvo de zumo de lima encapsulado en un crisol estándar de 40  $\mu$ l de aluminio (ME-51119870, Mettler-Toledo), cerrado con una tapa estándar de aluminio (ME-51119871, Mettler-Toledo) y sellado herméticamente. Se efectuó el análisis de forma directa sin borrado de historia térmica, realizándose un barrido desde -20 hasta 120°C, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. El punto medio de la transición vítrea se consideró como la temperatura característica de la transición.



**Figura 1.** Fotografía del Calorímetro de Barrido Diferencial -DSC 822e Mettler-Toledo

### Análisis de la morfología de las partículas de polvo por microscopía electrónica de barrido

Para analizar las características morfológicas de las microcápsulas y la posible agregación de las partículas de zumo de lima persa secadas por aspersión, se utilizó la técnica de microscopía electrónica de barrido (SEM), mediante el equipo HITACHI S-3500N (**Figura 2**), según la metodología descrita por Lozano (2009).

Las muestras de polvo obtenidas de cada tratamiento fueron fijadas a una cinta adhesiva de doble cara colocada en un porta muestras o cañón. Se aplicó una pequeña punta de espátula de muestra, fijándose a la cinta por medio de una pequeña presión. Posteriormente fueron metalizadas con platino durante 240 segundos, con el objetivo de que los pequeños granos de polvo se encuentren más estables y no se muevan cuando la lente del microscopio se encuentre cerca de ellos para visualizarlos, aumentar la conductividad de las muestras y obtener imágenes con buena resolución. La lente se colocó a 7 mm de distancia. Todas las imágenes se tomaron buscando un campo representativo de la muestra que estuviera lo más plano posible, operando a 5 kV y empleando una magnificación de 1000 aumentos.



**Figura 2.** Fotografía del microscopio electrónico de barrido (SEM), HITACHI S-3500N

### **Análisis del tamaño de las partículas de polvo por microscopía electrónica de barrido**

Las muestras se fijaron al portamuestras con cinta de carbono doble cara (Ted Pella Inc.) y se metalizaron con platino en un recubridor Polaron (modelo SC7640 Quorum Technologies) durante 120 s y corriente de 15 mA. Se observaron en un microscopio electrónico de barrido (MEB) Hitachi S-3500N (Hitachi High-Technologies Corporation, Tokyo, Japan) a 15 kV de voltaje de aceleración, una distancia de trabajo que varió entre los 7- 8 mm y en condiciones de alto vacío. La señal con la que se generó imagen fue de electrones secundarios (SE Secondary Electron). Para la adquisición de las imágenes se utilizó el programa Esprit Quantax 400 (Bruker Nano

GmbH, Berlin, Germany) y el Quartz PCI version 5.1 de Quartz Imaging Corporation, tanto para adquisición como para toma de medidas.

### **2.5.- Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron evaluados mediante análisis de varianza (one-way ANOVA). Las medias fueron separadas usando la Prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ). Estos análisis fueron realizados usando el Statistix para Windows versión 8.0. Para la representación de los resultados se empleó la media aritmética como medida central  $\pm$  DE de tres corridas de cada experimento. Las características organolépticas fueron analizadas por medio de frecuencias.

## **3. Resultados y Discusiones**

### **3.1.- Resultados de las Características del Zumo de *C. latifolia* Tanaka Encapsulado en Pulverizado de Mesocarpio de *C. paradisi* Macf, a Diferentes Temperaturas de Entrada, Presiones de Aire de Atomización y Caudales de Alimentación**

Según los resultados mostrados en la **Tabla 1**, los mayores rendimientos (46,76 %), se obtuvieron en el zumo de lima encapsulado en mesocarpio de pomelo a 135°C, 4,21 kg/cm<sup>2</sup> y 0,85 L/h. Salvo este tratamiento, el incremento en la temperatura de entrada del aire (125 - 145 °C) provocó el aumento del valor de esta variable en los zumos, sin embargo, resultaron iguales estadísticamente. Según Tonon *et al.*, (2008), existe una relación positiva entre la temperatura de entrada y el rendimiento del proceso, es decir, la eficiencia de los procesos de transferencia de calor y masa es mayor a temperaturas de aire de entrada más altas.

Similares resultados reportan Mendoza *et al.*, (2016), quienes obtuvieron las mejores condiciones de secado a una temperatura de entrada de 138,2 °C (de un rango entre 120 y 160 °C), en un producto a base de lactosuero y pulpa de mango (*Mangifera indica*) variedad Magdalena River, adicionado con *Bifidobacterium bifidum* y secado por aspersión. Lee *et al.*, (2016), obtuvieron rendimientos de 41,11 a 60,69 % al utilizar una concentración de jarabe de maíz de 35 % como encapsulante a temperatura de entrada de aire de 135°C en una bebida de mandarina secada por aspersión. Estos autores encontraron que el aumento de la temperatura de entrada

del aire hasta cierto grado redujo el rendimiento de secado en la bebida. Una explicación posible de tal resultado es que la fusión del polvo y la pared de cohesión a temperatura más alta podría haber reducido la cantidad de producción y rendimiento de polvos (Chegini y Ghobadian 2007). Esto podría explicar los resultados para la disminución del rendimiento en el zumo tratado a 145 °C comparado con el trabajado a 135 °C, de esta investigación.

En relación a los caudales de atomización, los mayores rendimientos se obtuvieron en los zumos deshidratados utilizando un caudal de atomización de 4,21 kg/cm<sup>2</sup> (46,76 y 38,67 % en los encapsulados en mesocarpio de pomelo y maltodextrina, respectivamente). Goula y Adamopoulos (2012), reportaron que el rendimiento de encapsulación aumentaba con una disminución en el caudal de aire de secado.

Respecto a los demás caudales de alimentación, el comportamiento de los zumos fue similar al encapsulado en maltodextrina DE-10 (38,67%), siendo menor en el tratado a 0,8 L/h.

Como se muestra en la **Tabla 1**, según las temperaturas de entrada, el mayor valor de pH (3,20), se observó en el zumo atomizado a 145 °C y el menor (3,08), en los zumos en que se utilizó 135 °C como temperatura de entrada con auxiliares de secado de mesocarpio de pomelo y maltodextrina. Estos resultados son similares a los reportados por Lee *et al.*, (2016) en polvos de bebida de mandarina tratados con diferentes cantidades de agentes portadores y secados por pulverización a diferentes temperaturas de aire de entrada (3,08 – 3,24). Estos autores indican que el pH aumentó con el incremento de la temperatura del aire de entrada, e informaron que el tratamiento térmico a alta temperatura durante un largo periodo de tiempo acelera la disminución del contenido de ácido, aumentando así los valores de pH en los polvos de la bebida de mandarina. Mahendran (2010), observó un resultado similar, con algunos ácidos perdidos debido a la evaporación durante el secado y el pH aumentando a medida que aumentaba la concentración de agentes portadores.

El pH de los zumos de lima encapsulados a un caudal de atomización de 4,00 – 4,21 kg/cm<sup>2</sup> fue estadísticamente diferente (**Tabla 1**) al del zumo trabajado a 4,42

kg/cm<sup>2</sup>, que fue mayor (3,12). Y respecto al caudal de alimentación, los valores de pH de los zumos fueron similares entre sí, a excepción del encapsulado a 0,9 L/h, que fue mayor (3,15).

En otro orden, se observó igual comportamiento en la actividad de agua de los zumos secados en las diferentes condiciones de trabajo evaluadas, obteniendo un valor pico en las condiciones intermedias estudiadas (135°C; 4,21 kg/cm<sup>2</sup> y 0,85 L/h), correspondientes a los testigos encapsulados en pulverizado de mesocarpo de pomelos y maltodextrina DE-10. Hubo diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos en relación a la temperatura de entrada, flujo de atomización y de alimentación.

Los valores de *a<sub>w</sub>* de esta investigación oscilaron entre 0,301 y 0,369, siendo mayores a los reportados por Fang y Bhandari (2011), en jugos de bayberry secados por pulverización (0,189 a 0,293), utilizando condiciones de secado de 150°C de temperatura de entrada; aspiración= 35 m<sup>3</sup>/h y atomización= 439 L/h y a los hallados por Lee *et al.*, (2016), en polvos de bebida de mandarina tratados con diferentes cantidades de maltodextrina y jarabe de maíz como agentes portadores y secados por pulverización a diferentes temperaturas de aire de entrada (0,15-0,17). Sin embargo, están dentro del intervalo reportado por Villacrez (2013), en encapsulados de mora de castilla (0,199 a 0,422), caen dentro de los valores de *a<sub>w</sub>* comúnmente observados en el secado por aspersion industrial (Masters, 1991) y según sugieren Herrera *et al.*, 2003, están por debajo de la actividad de agua mínima requerida para el crecimiento y la proliferación de microorganismos (*a<sub>w</sub>* mayor a 0,600).

El contenido de sólidos solubles de los zumos no fue influenciado por la temperatura de entrada aplicada ni por el caudal de alimentación; sin embargo, fue afectado por el caudal de atomización, observándose un menor valor (8,07 °Brix) para el zumo encapsulado a la mayor presión de atomización (4,42 kg/cm<sup>2</sup>).

El porcentaje de humedad de los polvos tuvo igual comportamiento que el explicado para la actividad de agua, a excepción del caudal de alimentación, en el cual mientras mayor es el volumen de líquido que entra al deshidratador, menor contenido de humedad presentan los zumos encapsulados. La temperatura de entrada no tuvo

efecto sobre esta variable dependiente. El intervalo de humedad resultante de esta investigación fue de 3,67 a 6,22 %, siendo similar a los valores reportados por Fang y Bhandari (2011), en jugos de bayberry secados por pulverización (2,79 % a 5,07 %); Villacrez (2013), en encapsulados de mora de castilla (3,43 – 12,56 %); Bhusari *et al.*, (2014), en pulpa de tamarindo en polvo con distintos tipos y tasas de adición de ayudante de secado (3,65 y 7,11%) y Pasrija *et al.*, (2015), en extractos de té verde secados por pulverización (3,66 a 7,4 g/100 g, con maltodextrina y ciclodextrina respectivamente).

Un comportamiento inusual fue observado en esta variable con respecto a la temperatura de entrada, donde el valor más elevado de humedad correspondió a la mayor temperatura. Este hecho también fue reportado por García *et al.*, (2004), en jugo de cebada verde secado por aspersión, quienes encontraron valores de 6,78; 4,44 y 9,02 %, en los polvos secados a 120, 140 y 160°C, respectivamente. Los autores atribuyen el hecho a que utilizaron diferentes condiciones de operación en el secador, como flujo de alimentación de 9, 11 y 13 ml/min, concentraciones de maltodextrina DE-10 de 1, 3 y 5% y manteniendo la presión de aire en 4,00 kg/cm<sup>2</sup>. Además, esta condición fue reportada por Caez y Jaraba (2012), en jugo de mango secado por aspersión, cuyos valores de humedad fueron 2,096; 2,030 y 2,286 %, para temperaturas de entrada de 120, 140 y 160°C, correspondientemente, a un caudal de alimentación de 10 ml/min, un flujo de aspiración de 473 L/h y una concentración de maltodextrina de 12,5%.

El contenido de humedad es una propiedad esencial para determinar la estabilidad y almacenamiento del polvo (Phisut, 2012) y está relacionada con la eficiencia de secado (Cynthia *et al.*, 2015).

La temperatura de entrada incidió sobre el porcentaje de proteínas. Se obtuvieron valores de 1,92 a 2,19 %. El menor porcentaje fue observado en el zumo encapsulado en maltodextrina, que fue el único zumo diferente estadísticamente a los demás, debido quizás a que este ayudante de secado es extraído de una hidrólisis parcial de almidón de maíz y el contenido en proteínas viene dado por el zumo, mientras que el pulverizado de mesocarpo de pomelos no sufrió hidrólisis y conserva parte de este nutriente.

**Tabla 1.-** Características del Zumo de Lima (*Citrus latifolia* Tanaka) Encapsulado en Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos (*Citrus paradisi* Macf), a Diferentes Temperaturas de Entrada, Presiones de Aire de Atomización y Caudales de Alimentación

CARACTERÍSTICAS	TEMPERATURA DE ENTRADA (°C)		CAUDAL DE ATOMIZACIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )		CAUDAL DE ALIMENTACIÓN (L/h)		TESTIGOS	
	125	145	4,00	4,42	0,80	0,90	MT	MD
Rendimiento (%)	32,21±1,49 <sup>b</sup>	38,81±0,33 <sup>b</sup>	26,02±0,04 <sup>d</sup>	27,94±0,24 <sup>c</sup>	35,32±0,85 <sup>c</sup>	37,32±1,46 <sup>bc</sup>	46,76±0,96 <sup>a/a/a</sup>	38,67±0,74 <sup>b/b/b</sup>
pH	3,17±0,00 <sup>b</sup>	3,20±0,00 <sup>a</sup>	3,09±0,00 <sup>b</sup>	3,12±0,01 <sup>a</sup>	3,07±0,02 <sup>b</sup>	3,15±0,01 <sup>a</sup>	3,08±0,00 <sup>c/b/b</sup>	3,08±0,01 <sup>c/b/b</sup>
Actividad de agua	0,314±0,00 <sup>c</sup>	0,317±0,00 <sup>c</sup>	0,301±0,00 <sup>c</sup>	0,322±0,01 <sup>b</sup>	0,336±0,01 <sup>b</sup>	0,333±0,01 <sup>b</sup>	0,369±0,00 <sup>a/a/a</sup>	0,339±0,01 <sup>b/b/b</sup>
Sólidos Solubles (°Brix)	9,00±0,00 <sup>a</sup>	8,97±0,06 <sup>a</sup>	9,00±0,00 <sup>ab</sup>	8,07±0,12 <sup>b</sup>	8,97±0,06 <sup>a</sup>	9,00±0,00 <sup>a</sup>	9,50±0,79 <sup>a/a/a</sup>	8,93±0,12 <sup>a/ab/a</sup>
Humedad (%)	4,08±0,58 <sup>a</sup>	4,39±0,05 <sup>a</sup>	4,11±0,02 <sup>ab</sup>	3,67±0,58 <sup>b</sup>	6,22±0,03 <sup>a</sup>	3,90±0,54 <sup>b</sup>	5,33±0,58 <sup>a/ab/ab</sup>	5,67±1,15 <sup>a/a/ab</sup>
Proteínas (%)	2,06±0,12 <sup>ab</sup>	2,19±0,08 <sup>a</sup>	2,22±0,01 <sup>a</sup>	2,09±0,04 <sup>b</sup>	2,20±0,05 <sup>a</sup>	1,98±0,23 <sup>a</sup>	2,10±0,06 <sup>ab/b/a</sup>	1,92±0,06 <sup>b/c/a</sup>
Cenizas (%)	16,93±0,50 <sup>a</sup>	15,80±1,22 <sup>a</sup>	15,27±0,61 <sup>ab</sup>	17,00±0,53 <sup>a</sup>	15,67±0,12 <sup>a</sup>	14,73±1,21 <sup>a</sup>	15,33±0,23 <sup>a/ab/a</sup>	14,73±1,14 <sup>a/b/a</sup>
Carbohidratos (mg Glucosa Equivalentes/g muestra)	12,21±0,56 <sup>c</sup>	14,80±0,32 <sup>b</sup>	13,75±0,79 <sup>b</sup>	17,02±2,12 <sup>a</sup>	15,08±0,62 <sup>b</sup>	11,44±0,43 <sup>c</sup>	16,70±0,62 <sup>a/ab/a</sup>	15,06±0,71 <sup>b/ab/b</sup>
Ácido Ascórbico (mg de Ácido Ascórbico equivalentes/g muestra)	252,50±19,70 <sup>a</sup>	180,18±31,64 <sup>b</sup>	255,59±17,06 <sup>a</sup>	257,70±16,06 <sup>a</sup>	134,47±16,11 <sup>b</sup>	133,47±15,88 <sup>b</sup>	180,18±0,0 <sup>b/b/a</sup>	114,92±2,88 <sup>c/c/b</sup>
Compuestos Fenólicos Totales (mg Ácido Gálico Equivalentes/g muestra)	60,55±0,17 <sup>d</sup>	71,21±0,58 <sup>c</sup>	72,33±0,32 <sup>c</sup>	60,09±0,32 <sup>d</sup>	57,51±0,64 <sup>d</sup>	69,61±0,16 <sup>c</sup>	122,05±1,65 <sup>a/a/a</sup>	91,70±1,15 <sup>b/b/b</sup>
Flavonoides Totales (mg Quercetina Equivalentes/g muestra)	0,16±0,00 <sup>d</sup>	0,36±0,01 <sup>a</sup>	0,49±0,00 <sup>a</sup>	0,50±0,01 <sup>a</sup>	0,13±0,00 <sup>c</sup>	0,08±0,00 <sup>d</sup>	0,18±0,00 <sup>c/c/b</sup>	0,30±0,00 <sup>b/b/a</sup>

Letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P>0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Cada barra (/) indica la división de los estudios, es decir, el primer estudio (Temperatura de entrada) corresponde a las letras colocadas antes de la primera barra y así, respectivamente. Los valores colocados después del símbolo  $\pm$  indican desviación estándar. MT y MD: zumos encapsulados en mesocarpio de pomelo y maltodextrina, correspondientemente, en condiciones de trabajo intermedias: 135°C, 4,21 kg/cm<sup>2</sup>, 0,85 L/h.

Por otro lado, se observó una ligera disminución del porcentaje de proteínas con el incremento del caudal de atomización, registrándose valores desde 2,22 en el zumo encapsulado a 4,00 kg/cm<sup>2</sup> hasta 2,09%, cuando la presión fue de 4,42 kg/cm<sup>2</sup>.

El porcentaje de proteínas de los zumos no fue afectado por el caudal de alimentación, resultando en valores de 2,2 a 1,98%. Villareal *et al.*, (2017), encontraron de 10,35 y 4,08 % en harinas de quinua y amaranto, respectivamente, utilizando 30% de maltodextrina como material de recubrimiento y secando a 150°C de temperatura de entrada y 5 bares de presión.

De las variables independientes estudiadas, sólo el caudal de atomización tuvo efecto sobre el contenido de cenizas de los zumos encapsulados. El rango obtenido para esta variable fue de 14,73 a 17,00 %, mientras que Rodríguez *et al.*, (2008), reportan 9,3% en extractos de *Justicia pectoralis* Jacq. secados por aspersion a una temperatura de entrada del aire de 140 ± 2 °C y temperatura de salida del aire de 80 ± 2 °C, con un flujo de atomización del aire de 600 L/h. Villareal *et al.*, (2017), encontraron de 3,23; 1,85 y 0,54% en harinas de quinua, amaranto y sagú, respectivamente, con 30% de maltodextrina, 150°C de temperatura de entrada de aire y 5 bares de presión.

Caez y Jaraba (2012), hallaron valores de ceniza de 0,387; 0,429 y 0,388 % en jugo de mango secado por aspersion a temperaturas de entrada de 120, 140 y 160°C, respectivamente, a un caudal de alimentación de 10 ml/min, un flujo de aspiración de 473 L/h y una concentración de maltodextrina de 12,5%.

En otro orden, el contenido de carbohidratos fue influenciado por las tres variables independientes estudiadas. Se observó el mismo comportamiento para la temperatura de entrada y el caudal de alimentación, encontrándose un pico en las condiciones de operación intermedias evaluadas (135°C; 4,21 kg/cm<sup>2</sup> y 0,85 L/h). En relación al caudal de atomización, se observó un incremento del contenido de carbohidratos a medida que aumentaba este caudal. El rango estuvo de 11,44 a 17,02 mg glucosa equivalentes/g muestra), siendo estos valores mayores que los reportados por García *et al.*, (2004), en jugo de cebada verde secado por aspersion (10,28 % de sacarosa), a 140°C, presión de aire de atomización de 4 kg/cm<sup>2</sup>, flujo de alimentación

de 11 ml/min y concentración de maltodextrina DE-10 de 1%. Mientras que Zapata *et al.*, (2015), encontraron 23765,49 mg de glucosa/100 g de polvo de curuba larga (*Passiflora mollissima* baley) secada por aspersión utilizando una relación 3:7 de maltodextrina DE-10, a una temperatura de entrada del aire de 170°C. Estos autores explican que en el secado es de esperarse la aparición de azúcares simples, ya que los componentes de la muestra están sometidos a temperaturas altas, generando la escisión homolítica de enlaces y la consecuente conversión de los polisacáridos a sus respectivas unidades monoméricas. Adicionalmente la mayoría de flavonoides y compuestos fenólicos se encuentran en las frutas de forma glicosidada (García, 2005), pero estos azúcares se liberan fácilmente como consecuencia del procesamiento y aumentan su concentración en el producto final.

En relación al ácido ascórbico, el mayor contenido (252,50 mg de ácido ascórbico equivalente/g muestra), fue conservado por los zumos de lima encapsulados en mesocarpo de pomelo a la menor temperatura de entrada (125°C), disminuyó con los próximos 10 °C (180,18 mg de ácido ascórbico equivalente/g muestra) y se estabilizó con los siguientes 10 °C, manteniendo el mismo valor. Mientras que en el zumo encapsulado en maltodextrina este contenido fue significativamente menor (114,92 mg de ácido ascórbico equivalente/g muestra).

Lee *et al.*, (2016), reportaron que la cantidad de vitamina C disminuyó a medida que aumentaba la temperatura de entrada. Observaron un comportamiento similar al de esta investigación en las bebidas de mandarina secadas por aspersión usando 40 % de jarabe de maíz a temperaturas de entrada de 120, 135 y 150 °C, obteniendo valores de 100,40; 89,62 y 86,77 mg/100g. Las altas temperaturas en el proceso de secado por pulverización pueden conducir a la disminución o pérdida de vitamina C (Barbosa *et al.*, 2015). En esta investigación, el ácido ascórbico mostró sensibilidad a partir de 135 °C.

Respecto al caudal de atomización, la retención de ácido ascórbico de los zumos fue muy variable, mostrando un comportamiento inusual, donde los mayores valores fueron observados en los zumos encapsulados en las condiciones extremas de

presión de aire evaluadas. El rango fue de 114,92 - 257,70 mg de ácido ascórbico equivalente/g muestra.

Por otro lado, al evaluar el flujo de alimentación, los mayores contenidos de ácido ascórbico se encontraron en los zumos de lima encapsulados en pulverizado de mesocarpo de pomelo, correspondiendo el valor más elevado al deshidratado a 0,85 L/h (180,18 mg de ácido ascórbico equivalente/g muestra), presentando diferencias significativas respecto a los zumos tratados con los demás caudales estudiados. El primer hecho mencionado es lógico, considerando que la maltodextrina es extraída de una hidrólisis parcial de almidón de maíz y su contenido en ácido ascórbico es menor que el de pulverizado de mesocarpo de pomelos.

El contenido de compuestos fenólicos totales en los zumos de lima encapsulados de 125 a 145 °C estuvo entre 60,55 y 122,05 mg ácido gálico equivalente/ g muestra). Estos compuestos parecen ser más estables a la temperatura de entrada intermedia evaluada, resultando en los valores mayores, independientemente del encapsulante empleado. Los resultados podrían ser debidos a que los polifenoles son más sensibles a la alta temperatura y al pH alcalino (Pasrija *et al.*, 2015), condiciones que se evidenciaron en los zumos deshidratados a 145°C, mostrando el valor de pH superior (3,20).

Con relación al caudal de atomización, todos los zumos presentaron contenidos de compuestos fenólicos totales diferentes entre sí (**Tabla 1**). Contrario al contenido de ácido ascórbico, los menores valores de estos compuestos fueron observados en los zumos encapsulados en las condiciones de presión de aire extremas evaluadas. Y similar a lo mencionado para las temperaturas de entrada, parecen ser más estables al caudal de atomización intermedio evaluado, independientemente del encapsulante empleado. La mayor retención de estos compuestos fue observada en el zumo encapsulado a 4,21 kg/cm<sup>2</sup> (122,05 mg ácido gálico equivalente/ g muestra).

Por otro lado, al evaluar los caudales de alimentación, el contenido de compuestos fenólicos totales de los zumos deshidratados estuvo de 57,51 a 122,05 mg ácido gálico equivalente/ g muestra), debido probablemente a que los polifenoles son termo lábiles y un prolongado tratamiento térmico puede causar cambios químicos

irreversibles en el contenido de fenol (Routray y Orsat, 2012); además, Pasrija *et al.*, (2015), indican que las condiciones de procesamiento del proceso de encapsulación pueden afectar el contenido de polifenoles y su actividad.

Paini *et al.*, (2015), reportaron valores menores para esta variable (4,4 – 27,7 mgCAE/gDP), en la microencapsulación de compuestos fenólicos de orujo de oliva utilizando secado por aspersión con temperaturas de entrada de 130 y 160 °C y flujos de alimentación de 5 ml / min y 10 ml / min. Mientras que Ghasemi *et al.*, (2009) evaluaron los polifenoles totales de los tejidos de una variedad de *Citrus paradisi* y dos de *Citrus aurantium*, encontrando de 66,5 a 396,82 mg de ácido gálico equivalente / g de extracto en polvo.

Fang y Bhandari (2011) encontraron valores de 14,28 mg de ácido gálico /100g de materia seca en jugo de bayberry secado por aspersión trabajado con maltodextrina 1:1, a 439 L/h y 150 °C de temperatura de entrada y Zapata *et al.*, (2015), reportaron 5012,8 mg de ácido gálico / 100 g de polvo de curuba larga (*Passiflora mollisima* baley) secada por aspersión utilizando una relación 3:7 de maltodextrina DE-10 como encapsulante, a una temperatura de entrada del aire de 170 °C.

En otro orden, los flavonoides totales fueron mejor retenidos en los zumos de lima encapsulados en mesocarpo de pomelo a la mayor temperatura de entrada (145 °C) y en maltodextrina a la temperatura intermedia (135 °C). El contenido de flavonoides totales en los zumos encapsulados en mesocarpo de pomelo aumentó con la temperatura de entrada estudiada.

En cuanto al caudal de atomización, la retención de flavonoides totales de los polvos presentó un comportamiento inusual y los mayores valores fueron observados al operar en las condiciones extremas evaluadas de presión de aire. El rango obtenido fue de 0,18 – 0,50 mg Quercetina equivalentes/g muestra. Los flavonoides totales fueron más retenidos en los zumos de lima encapsulados en maltodextrina a 0,85 L/h (0,30 mg Quercetina equivalentes/g muestra).

Ghasemi *et al.*, (2009) evaluaron el contenido de flavonoides de los tejidos de una variedad de *C. paradisi* y dos de *C. aurantium*, reportando de 0,3 - 17,1 mg de

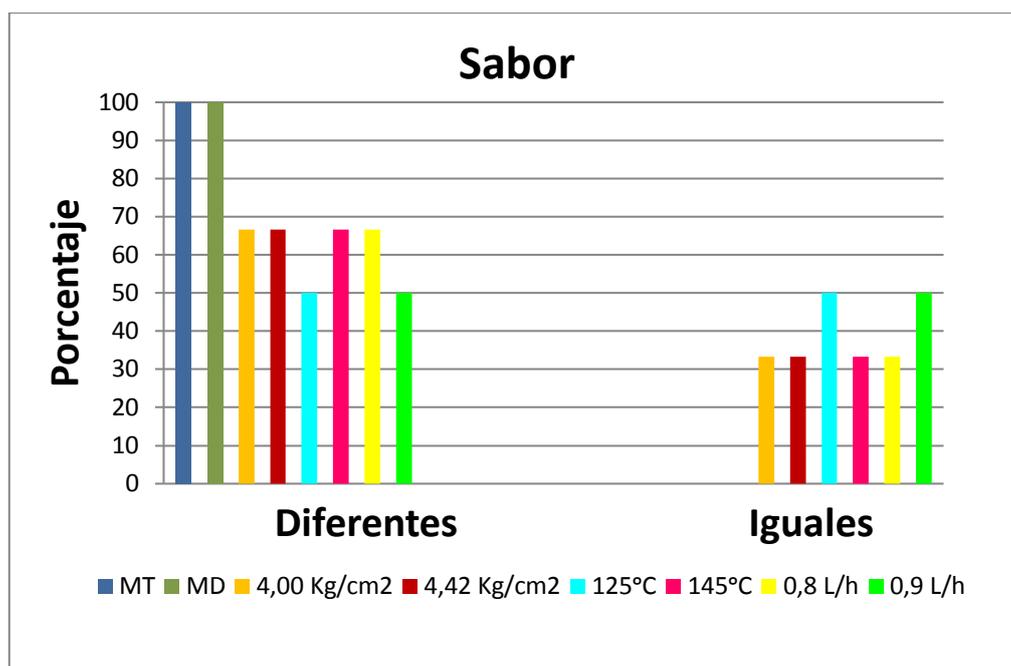
quercetina equivalente / g de extracto en polvo. Mientras que Fang y Bhandari (2011) encontraron 41,86 mg de quercetina /100g de materia seca en jugo de bayberry secado por aspersión trabajado con maltodextrina 1:1, a 439 L/h y 150 °C de temperatura de entrada.

### **3.2.- Resultados de las Características Sensoriales de los Zumos Atomizados a Diferentes Condiciones de Proceso**

Como se muestra en la **Gráfica 1**, al menos el 50% de los panelistas encontró que el sabor de los zumos de lima secados por aspersión y rehidratados fue diferente al del zumo de lima fresco; siendo los encapsulados tanto en pulverizado de mesocarpo de pomelo como en maltodextrina DE-10 a una presión de atomización de 4,21 Kg/cm<sup>2</sup>, caudal de alimentación de 0,85 L/h y temperatura de entrada de aire de 135°C, los menos parecidos al zumo fresco. Además, los evaluadores comentaron que de salida percibían un tenue sabor a tostado. Esto podría ser explicado por las afirmaciones de Jun-xia *et al.*, (2011) quienes exponen que la mayoría de los sabores de los alimentos líquidos son volátiles y químicamente inestables en presencia de aire, luz, humedad y altas temperaturas, también aseguran que la pérdida o la retención incompleta de los compuestos es un problema crítico que restringe la microencapsulación de sabores.

En la **Gráfica 1** también se aprecia que los deshidratados más parecidos al zumo fresco, en cuanto a sabor, fueron los tratados a 125°C y a 0,90 L/h. Estos hallazgos indican que, a menor tiempo de exposición a condiciones agresivas de proceso, mejor conservan sus propiedades.

Jun-xia *et al.*, (2011), microencapsularon aceite de naranja dulce por coacervación compleja con proteína aislada de soya y goma arábica; cuando utilizaron una relación 1:1 de sacarosa y proteína aislada de soya obtuvieron microcápsulas esféricas sin agujeros en la superficie y los componentes de sabor se mantuvieron bien en las microcápsulas, indicando una buena protección para el material de núcleo.



**Gráfica 1.** Resultados del sabor de los zumos de lima atomizados

Por otra parte, González *et al.*, (2011) evaluaron el efecto de la maltodextrina y goma arábica en la retención de compuestos volátiles durante el secado por aspersión de jugo de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.). Encontraron que el tratamiento compuesto por 0,5 % de una mezcla de maltodextrina DE-10 y goma arábica (1:1) p/p, empleando condiciones de secado constantes: flujo de alimentación del 15 % de jugo de sandía, temperatura de secado de 190 °C y temperatura de salida de 80 °C, presentó la mayor retención de compuestos volátiles. Atribuyeron este hecho a que existe la posibilidad de que los encapsulantes formaran una película o pared viscoelástica que tuvo la elasticidad suficiente para adquirir la morfología de las micropartículas del producto y a la vez fue selectivamente permeable, lo cual permitió la evaporación del agua durante el secado por aspersión de sandía. De esta forma, los encapsulantes tuvieron un efecto positivo en la retención de compuestos volátiles, proporcionando mayor estabilidad química y protegieron la degradación de compuestos.

Asimismo, Rivas (2010) microencapsuló el jugo de chirimoya mediante secado por aspersión utilizando maltodextrina (hasta 50 % b.s.) como material de pared, diferentes temperaturas de entrada del aire (120, 146 y 160 °C) y una velocidad de alimentación de 10 ml/min, comparó la aceptabilidad del jugo rehidratado con el jugo fresco y esta fue calificada por encima del mínimo (6, en una escala del 1 al 9) para el

jugo rehidratado debido a un ligero sabor amargo, el cual fue adjudicado a liberación de componentes presentes en el fruto.

A su vez, Lee *et al.*, (2016) no encontraron diferencias significativas en el sabor de las bebidas en polvo obtenidas estudiando los efectos de la temperatura del aire de entrada y la concentración de agentes portadores sobre las propiedades fisicoquímicas y las características sensoriales de una bebida en polvo de mandarina (*Citrus unshiu*), aunque expresaron que a medida que aumentaba la concentración de maltodextrina y la temperatura de entrada, disminuía la aceptabilidad general y menos preferido era el polvo. Refirieron que la dulzura de la maltodextrina no era lo suficientemente alta para afectar el sabor general del producto seco y que se prefería el jarabe de maíz sobre la maltodextrina debido a su mayor dulzura.

Pinillos y Polo (2014) encapsularon zumo de lima por atomización empleando las siguientes proporciones de materiales: 100 ml de zumo de lima, 10 g de goma arábica, 30 g de maltodextrina y 20 ml de agua tibia. Estudiaron 7 temperaturas de atomización en un rango de 100 a 130 °C, con una diferencia de 5 °C cada una. A nivel sensorial encontraron que el zumo de lima atomizado a 105 °C fue el que obtuvo mayores características deseadas en la investigación, con un color muy bueno, sabor excelente, olor muy bueno y textura buena. Indicaron que el sabor de los productos deshidratados en las bebidas refrescantes tiene una variación mínima, al igual que afirmaron Goula y Adamopoulos (2010).

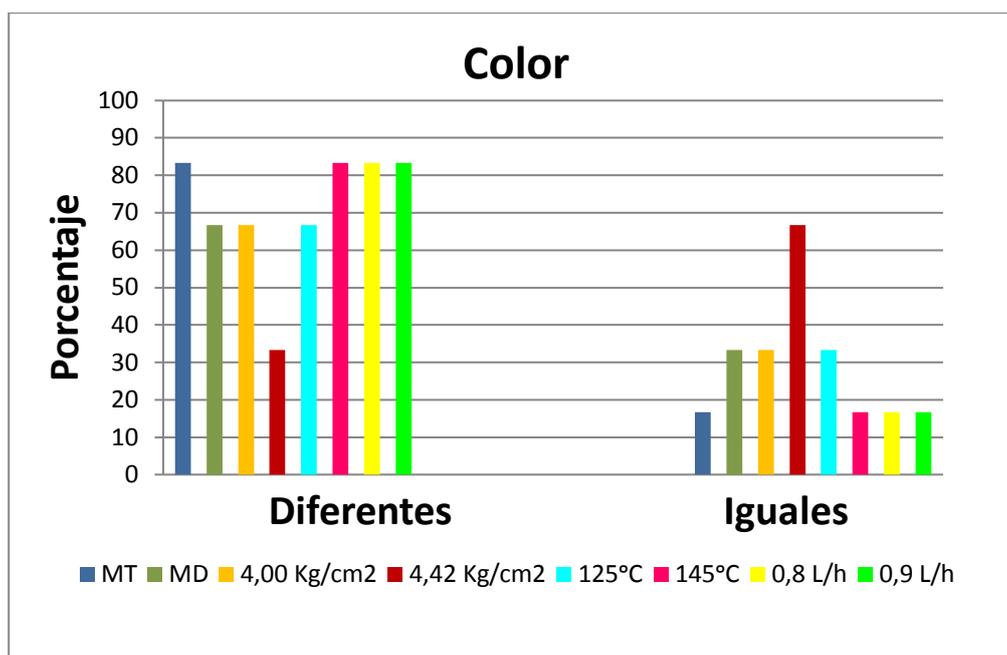
Subtil *et al* (2014) reportaron que el proceso de secado por aspersión del hidrolizado de caseína utilizando goma arábica como agente portador condujo a la atenuación o enmascaramiento del sabor amargo del hidrolizado de caseína. Asociaron este hallazgo con una baja tasa de disolución en agua, lo que resulta en una reducción en el sabor amargo de los hidrolizados de proteínas, que está directamente relacionado con la exposición de grupos hidrófobos. La disminución del amargor sugiere que estos grupos hidrófobos se volvieron menos expuestos, posiblemente debido a las interacciones hidrofóbicas con el material de la pared (Mizumoto *et al.*, 2008; Rocha *et al.*, 2009). Afirman que este resultado fue similar al obtenido por Ortiz *et al.*, (2009) y por Favaro *et al.*, (2010) para hidrolizado de caseína secado por

pulverización con aislamiento de proteína de soya y mezclas de gelatina con aislamiento de proteína de soya, respectivamente.

Villacrez (2013) microencapsuló mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) mediante secado por aspersión utilizando encapsulantes en una proporción 1:1, temperatura de entrada de 120 °C y una velocidad de procesamiento de 485 ml/h. En cuanto al sabor, cuando utilizó HI-CAP 100 como encapsulante predominó el sabor a fresa, químico, dulce, acidez elevada, mora leve, artificial; con almidón de yuca el sabor encontrado fue descrito como a mora, tierra, tiza, carbonato, mayor acidez, amargo, medicamento, harinoso, astringente y se sentía el recubrimiento; con maltodextrina DE-20 se encontró sabor a mora, dulce, maltodextrina, adhesivo; con la mezcla de almidón de yuca y maltodextrina DE-20, los panelistas encontraron que los encapsulados presentaban sabor a mora, dulce, tiza, carbonato de calcio, químico, lácteo, arenoso, astringente, sensación áspera y un residual amargo, encontrándose diferencias significativas desde el punto de vista estadístico.

Méndez (1972), deshidrató por rociada el jugo de lima sutil, utilizando pectina cítrica en polvo en proporciones de 10, 15 y 29 % sobre el peso de los sólidos del jugo y obtuvo mejores resultados de aroma y sabor conforme aumentaba la concentración del agente de recubrimiento.

Con respecto al color, los resultados de la **Gráfica 2** sugieren que el tratamiento rehidratado más parecido en color al zumo de lima fresco es el encapsulado empleando una presión de atomización de 4,42 kg/cm<sup>2</sup>, pues el 67 % de los panelistas encontró que su color es igual al del zumo fresco; mientras que el mismo porcentaje de jueces (67%) o mayor percibió que el color de los demás tratamientos rehidratados es diferente al del zumo fresco. Algunos evaluadores mencionaron que los zumos encapsulados presentaron cierta opacidad, mientras que el zumo fresco no poseía esta característica.



**Gráfica 2.** Resultados del color de los zumos de lima atomizados

Rivas (2010) comparó el color y la apariencia del jugo de chirimoya fresco con los polvos obtenidos mediante secado por aspersión utilizando maltodextrina como encapsulante, diferentes temperaturas de entrada del aire (120, 146 y 160 °C) y una velocidad de alimentación de 10 ml/min y con los jugos rehidratados, e informó que la mejor condición fue a 160 °C porque el producto presentó las mejores características, también afirma que la apariencia del jugo rehidratado fue mejor con respecto al jugo fresco. Indica que las variaciones en el color del jugo rehidratado se debieron principalmente a reacciones de formación de complejos con iones metálicos como el cobre y el hierro, lo que trajo como consecuencia un pardeamiento en el producto y además, cita a Cortés y Chiralt (2008), quienes señalan que las reacciones de degradación de pigmentos (especialmente carotenoides y clorofila) afectan el color durante el secado.

De igual manera, Fennema (2000) afirma que un factor importante que contribuye a la degradación de las betalaínas es la presencia de oxígeno y luz ya que el oxígeno molecular se ha implicado en la degradación oxidativa de la betanina (en ausencia de oxígeno, la estabilidad aumenta) y la luz acelera la oxidación de las betalaínas. Añade que la presencia de antioxidantes, como el ácido ascórbico o isoascórbico, mejora su estabilidad y que los cationes de cobre y hierro catalizan la

oxidación del ácido ascórbico por el oxígeno no molecular y restan valor a la eficacia del ácido ascórbico como protector de las betalainas.

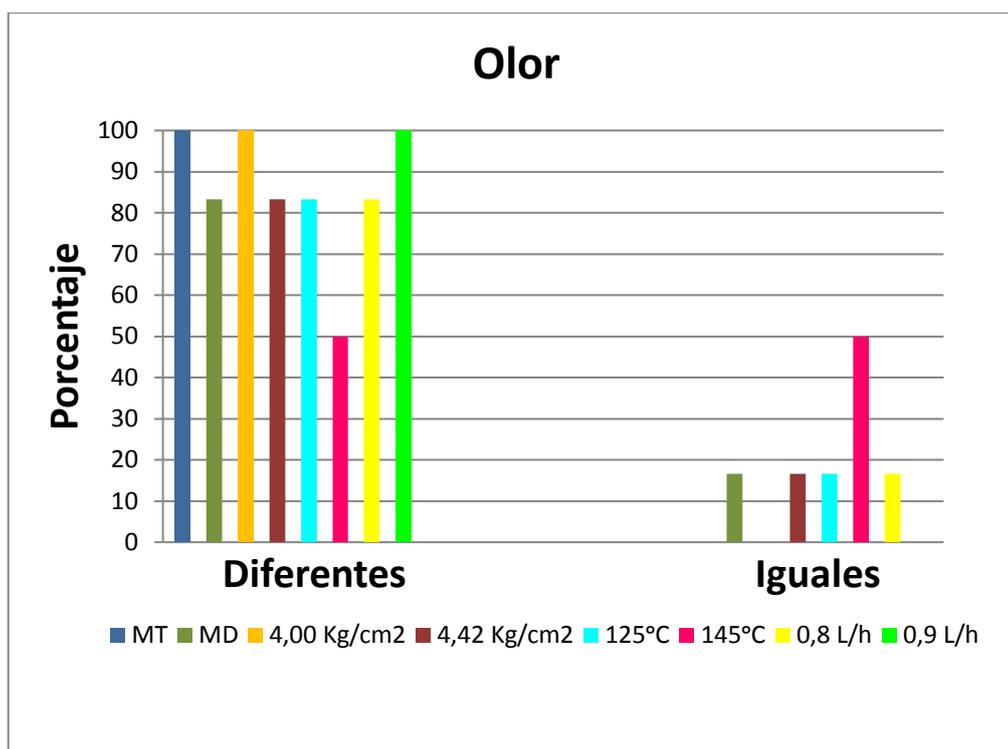
En otro orden, García *et al.*, (2004) evaluaron condiciones de operación del secado por aspersión (temperatura del aire de entrada: 120, 140 y 160°C; concentración de maltodextrina como agente encapsulante: 1, 3 y 5%, velocidad de alimentación: 9, 11, y 13 ml/min y temperatura de aire de salida de 70 a 80°C) para obtener un polvo microencapsulado a partir del jugo de cebada verde (*Hordeum vulgare* L) y encontraron que los parámetros de color L\*, a\* y b\* en el polvo tuvieron diferencias significativas respecto al jugo, obteniéndose polvos microencapsulados con un color verde similar al jugo fresco de cebada ( $a^* = -2,52 \pm 0,16$ ) cuando se emplearon las condiciones de proceso correspondientes a una temperatura de 140°C del aire de entrada al secador, flujo de alimentación de 11 ml/min y un contenido de maltodextrina del 1%. Señalan que los parámetros que más influyeron en los polvos fueron el contenido de humedad y la temperatura y que, al igual que Whistler y Daniel (1997), consideran que los cambios indeseables en cuanto al color de productos alimenticios son debidos a reacciones de oscurecimiento no enzimáticas; al respecto, los factores que intervienen en la velocidad de este oscurecimiento son el contenido de humedad, temperatura, pH y composición.

Resultados similares fueron reportados por Lee *et al.*, (2016) cuando utilizaron maltodextrina como agente portador en el secado por atomización de bebidas de mandarina a diferentes temperaturas de aire de entrada. Explican que el color varió y disminuyó a medida que aumentaba la temperatura de entrada y la concentración de maltodextrina. Lo mismo sucedió cuando utilizaron jarabe de maíz como agente portador; aún así, manifestaron que se prefería el jarabe de maíz sobre la maltodextrina por ser incoloro. Sin embargo, el rendimiento de secado con jarabe de maíz fue 10% menor que cuando se usó maltodextrina, por lo tanto, concluyen que se requieren más investigaciones a fin de desarrollar métodos apropiados para aumentar el rendimiento de secado y mejorar el sabor y el color.

Villacrez (2013) expone que cuando se habla de encapsular se esperaría que la pared protectora generada por los diferentes agentes de recubrimiento, que en su

mayoría son blancos, produjera microcápsulas de color blanco, con un interior del color característico de los compuestos encapsulados. Sin embargo, cuando microencapsuló mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) mediante secado por aspersión utilizando maltodextrina DE-20 en una proporción 1:1, temperatura de entrada de 120°C y una velocidad de procesamiento de 485 ml/h, los sólidos obtenidos presentaron colores rojizos debido a que en el proceso de secado se presentan fenómenos de adsorción y absorción; además, algunos agentes de recubrimiento tienen sitios activos en la parte externa de la esfera que generan en el proceso de secado, que permiten que puedan unirse diferentes compuestos polares como las antocianinas, ácidos orgánicos, vitaminas, entre otros. También observó que, en comparación con los microencapsulados sin disolver, los disueltos presentan una mayor orientación hacia el rojo y una mayor dispersión en la claridad, por lo que indica que se debe considerar la opalescencia que pueden generar algunos agentes encapsulantes.

Méndez (1972), deshidrató por rociada el jugo de lima sutil, utilizando carboximetil celulosa de sodio en proporciones de 1, 2, 3 y 4% en peso sobre sólidos totales del jugo de lima y observó que el color original del jugo era protegido. También experimentó con pectina cítrica en polvo en proporciones de 10, 15 y 29% sobre el peso de los sólidos de jugo de lima sutil y obtuvo mejores resultados conforme aumentaba la concentración; sin embargo, el color no sufrió alteraciones importantes.



**Gráfica 3.** Resultados del olor de los zumos de lima atomizados

Según la **Gráfica 3**, el 100% de los evaluadores percibió que el olor del zumo de lima fresco es diferente del de los tratamientos MT, 4,00 Kg/cm<sup>2</sup> y 0,9 L/h rehidratados (estos tratamientos tienen en común el agente de recubrimiento y la temperatura de entrada de aire); mientras que el 50 % de los panelistas encontró que el olor del zumo encapsulado en pulverizado de mesocarpo de pomelo a una temperatura de entrada de aire de 145°C, caudal de alimentación de 0,85 L/h y presión de atomización de 4,21 Kg/cm<sup>2</sup>) es igual al del zumo fresco, indicando esto que los tres factores evaluados (temperatura de entrada de aire, caudal de alimentación y presión de atomización) afectan el olor del producto encapsulado.

Estos hallazgos son respaldados por De Torres (2009) quien explicó que el olor y sabor que caracterizan un alimento son consecuencia de compuestos químicos de naturaleza volátil, los cuales son sensibles al paso del tiempo porque pueden disminuir en concentración por evaporación desde la matriz o por transformaciones químicas como la oxidación, reducción, reacción de Maillard, entre otros. Así, en el estudio realizado por el mencionado autor, los panelistas percibieron una menor intensidad en el olor del mosto atomizado, aunque no notaron la aparición de olores ni sabores nuevos e impropios de la uva en el mosto atomizado.

Contrario a estas informaciones, cuando Villacrez (2013) utilizó maltodextrina DE 20 en una proporción 1:1 para microencapsular mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) mediante secado por aspersión empleando una temperatura de entrada de 120°C y una velocidad de procesamiento de 485 ml/h, los jueces describieron olor a mora, vegetal y ácido, pero al utilizar HI-CAP 100 como encapsulante se mantuvo el olor a mora, fresco, dulce y ácido, y al combinar la maltodextrina DE 20 con almidón de yuca, el olor fue descrito como leve a mora, mezclado con lactato, ácido, químico, herbal, a fermento, agrio, plástico, lácteo, no natural. A pesar de estos comentarios, no se encontró diferencias significativas entre las sumas de los rangos de la calidad del olor de los diferentes microencapsulados de mora evaluados.

De igual manera, Caez y Jaraba (2012), documentaron que el olor de los polvos de mango obtenidos mediante secado por aspersión se mantuvo igual al del jugo de fruta fresca. Asimismo, Méndez (1972) observó que la pérdida de aroma era insignificante cuando deshidrató por rociada el jugo de lima sutil utilizando carboximetil celulosa de sodio en proporciones de 1, 2, 3 y 4% en peso sobre sólidos totales del jugo de lima; señaló que cuando trabajó con pectina cítrica en polvo en proporciones de 10, 15 y 29% sobre el peso de los sólidos de jugo de lima sutil, obtuvo mejores resultados en el aroma conforme aumentaba la concentración.

### **3.3 Resultados de la Temperatura de Transición Vítrea de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado**

Como se aprecia en la **Tabla 2**, la temperatura de entrada evaluada tiene influencia sobre las temperaturas de inicio y punto medio de transición vítrea (Tg) de los zumos de lima persa atomizados. En esta investigación, la mayor temperatura de entrada implicó las menores Tg (**Gráfica 4**). Santhalakshmy *et al.*, 2015, reportaron valores de Tg para jamun secado por pulverización comprendidos entre 55,85 y 71,78 °C. En su estudio, las temperaturas de transición vítrea disminuyeron al aumentar la temperatura de entrada de aire. Resultados similares fueron reportados por Akkaya *et al.*, (2012), para el secado por pulverización de la melaza de algarrobo (carob molasses). Estos valores de Tg estaban en el mismo rango que los reportados para

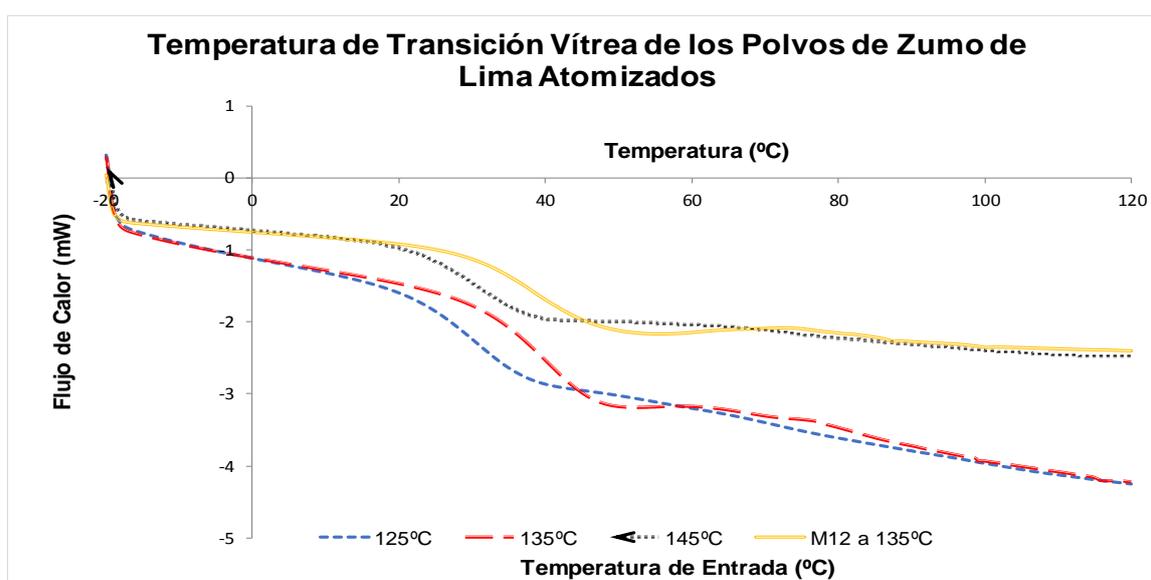
polvos de acai obtenidos por secado por aspersión usando maltodextrina (Tonon *et al.*, 2009).

**Tabla 2.-** Temperaturas de Transición Vítrea de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado en relación a la Temperatura de Entrada.

Temperatura Entrada (°C)	Temperatura de Inicio de transición vítrea (°C)	Temperatura de Punto Medio de transición vítrea (Tg) (°C)
125	22,48 ± 1,79 <sup>b</sup>	29,50 ± 2,11 <sup>b</sup>
135	31,06 ± 1,71 <sup>a</sup>	37,55 <sup>a</sup> ± 0,29 <sup>a</sup>
145	22,21 ± 1,79 <sup>b</sup>	29,45 <sup>c</sup> ± 2,17 <sup>b</sup>
MD a 135	30,38 ± 4,23 <sup>a</sup>	37,43 ± 3,70 <sup>a</sup>

Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas (P>0,05) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias (n = 3) ± DE.

A temperatura de transición vítrea, un material amorfo experimenta un cambio de una naturaleza vítrea muy viscosa a gomosa debido a un aumento en la movilidad molecular y una disminución de la viscosidad a temperatura de transición vítrea, lo que puede dar lugar a cambios estructurales tales como pegajosidad y colapso del producto (Carolina *et al.*, 2007; Kaushik y Roos, 2007). La Tg de un polvo secado por pulverización puede utilizarse como indicador de estabilidad durante largos períodos de almacenamiento (Bhandari y Howes (1999).



**Gráfica 4.** Temperatura de transición vítrea de los polvos obtenidos de zumo de lima atomizadas a diferentes temperaturas de aire de entrada.

Hashib *et al.*, (2015) y Goula y Adamopolous (2010), reportaron aumentos de la temperatura de transición vítrea con el incremento de la temperatura del aire de entrada, evaluando 130, 140 y 150°C, en jugo de piña secado por aspersión y 110, 120, 130 y 140°C en el secado por pulverización de zumo de naranja. Atribuyen este hecho al menor contenido de humedad de los polvos a altas temperaturas de secado, donde se reduce el efecto del agua para actuar como supresor de la temperatura del vidrio. Hashib *et al.*, (2015), argumenta que la rápida formación de una superficie seca durante el secado por pulverización inhibe la formación de puentes líquidos entre superficies de partículas adyacentes, disminuyendo el efecto de plastificación del agua y elevando la temperatura de transición vítrea del polvo.

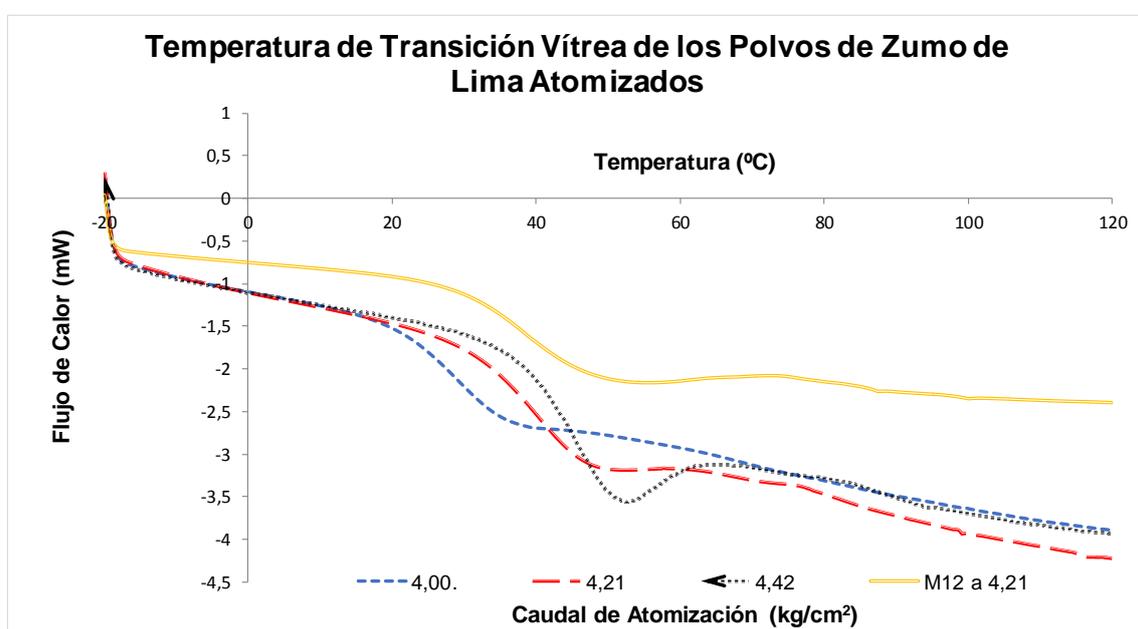
La **Tabla 3** contiene los resultados de la temperatura de transición vítrea de los polvos de zumo de lima encapsulado respecto al caudal de atomización. Se observa que las presiones de aire de atomización evaluadas afectaron significativamente las temperaturas de inicio y punto medio de transición vítrea de los zumos de lima deshidratados. Ambas temperaturas mostraron una tendencia directamente proporcional a la presión de aire aplicada, lo cual puede apreciarse en la **Gráfica 5**. Los valores de inicio de transición vítrea fueron de 21,11 a 37,71°C, en los zumos secados a 4,00 y 4,42 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

**Tabla 3.**-Temperaturas de Transición Vítrea de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado en relación al caudal de atomización.

Caudal de Atomización (kg/cm <sup>2</sup> )	Temperatura de Inicio de transición vítrea (°C)	Temperatura de Punto Medio de transición vítrea (Tg) (°C)
4,00	21,11 ± 0,52 <sup>c</sup>	27,74 ± 0,62 <sup>b</sup>
4,21	31,06 ± 1,71 <sup>ab</sup>	37,55 ± 0,29 <sup>a</sup>
4,42	37,71 ± 2,61 <sup>a</sup>	41,50 ± 1,17 <sup>a</sup>
MD a 4,21	30,38 ± 4,23 <sup>b</sup>	37,43 ± 3,70 <sup>a</sup>

Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 3$ ) ± DE.

Según argumenta Del Juncal (2016), la temperatura de inicio de la transición vítrea representa la temperatura de fusión de los cristales menos estables. Mientras que la temperatura de pico o punto medio sugiere la temperatura de fusión de la mayoría de los cristales. En esta investigación, los valores de puntos medios de temperatura de transición vítrea estuvieron de 27,74 a 41,5°C. Lozano (2009), explica que una mayor temperatura de transición vítrea significará un mejor comportamiento en el secado. En este estudio, ya que los caudales 4,21 y 4,42 kg/cm<sup>2</sup> son iguales estadísticamente, representan las condiciones evaluadas que resultan en polvos con mejores comportamientos en la deshidratación.



**Gráfica 5.** Temperatura de transición vítrea de los polvos obtenidos de zumo de lima microencapsuladas a diferentes caudales de atomización.

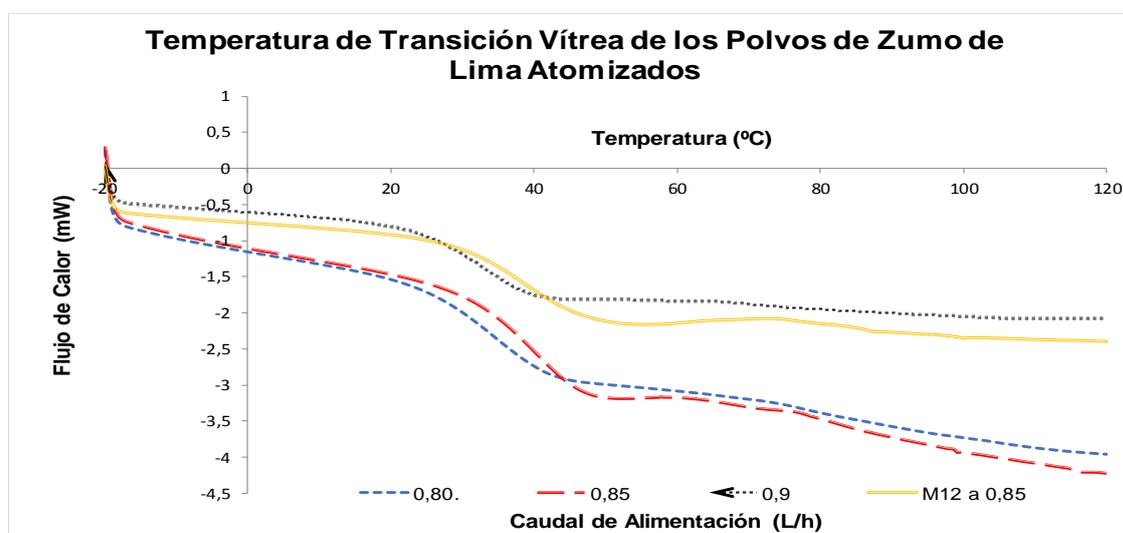
En la **Tabla 4** se muestran los resultados de la temperatura de inicio y punto medio de transición vítrea en relación al caudal de alimentación utilizado para la encapsulación de los zumos de lima. Se aprecia que hubo el mismo comportamiento que en la temperatura de entrada (**Gráfica 6**). El caudal intermedio resultó en las mayores temperaturas de inicio y punto medio de transición vítrea de los zumos atomizados.

**Tabla 4.**-Temperaturas de Transición Vítrea de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado en relación al caudal de alimentación.

Caudal de Alimentación (L/h)	Temperatura de Inicio de transición vítrea (°C)	Temperatura de Punto Medio de transición vítrea (Tg) (°C)
0,80	26,01 ± 3,57 <sup>a</sup>	33,43 ± 4,02 <sup>a</sup>
0,85	31,06 ± 1,71 <sup>a</sup>	37,55 ± 0,29 <sup>a</sup>
0,90	24,34 ± 1,83 <sup>a</sup>	31,36 ± 1,51 <sup>a</sup>
MD a 0,85	30,38 ± 4,23 <sup>a</sup>	37,43 ± 3,70 <sup>a</sup>

Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 3$ ) ± DE.

De acuerdo con Bhusari *et al.*, (2014), la higroscopicidad y el grado de apelmazamiento de los polvos se pueden correlacionar. Esta afirmación es completada por Roos (1993), quien indica que la higroscopicidad de los polvos de alimentos deshidratados ricos en azúcar es atribuible a la temperatura de transición vítrea. Cuanto más alta sea la Tg del polvo, más baja es su higroscopicidad y cuanto mayor sea la higroscopicidad, mayor será el grado de apelmazamiento (Bhusari *et al.*, 2014). Por lo tanto, en este estudio, el caudal de alimentación 0,85 L/h es el que probablemente resultará en los polvos menos higroscópicos debido a su Tg más elevada en comparación con los demás caudales evaluados.



**Gráfica 6.** Temperatura de transición vítrea de los polvos obtenidos de zumo de lima atomizadas con distintos caudales de alimentación.

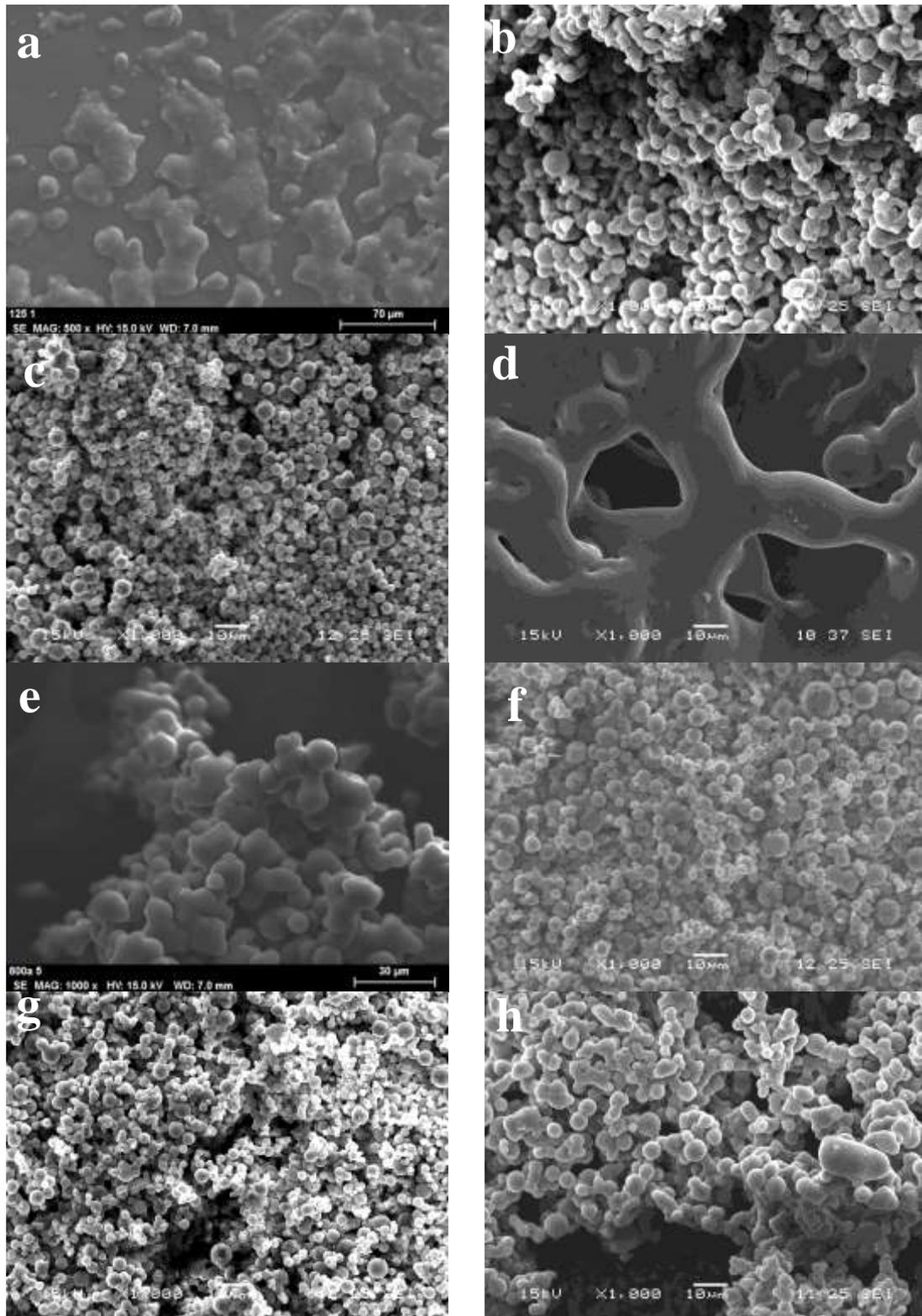
### **3.4.- Resultados de los Análisis de Morfología de las Partículas de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado**

Según Bhusari *et al.*, (2014), en las últimas décadas, la microestructura de los polvos alimentarios ha sido ampliamente estudiada. Paini *et al.*, (2015), indica que la temperatura de entrada y el flujo de alimentación influyen en la microestructura de las partículas.

La morfología del polvo de zumo de lima persa microencapsulado con diferentes condiciones de secado se presenta en la **Figura 3**. Los polvos que presentaron las formas esféricas mejor definidas fueron los secados a temperaturas de entrada de 135°C (g y h) y 145°C (b), caudales de atomización de 4,00 kg/cm<sup>2</sup> (c) y 4,21 kg/cm<sup>2</sup> (g y h) y caudales de alimentación de 0,85 L/h (g y h) y 0,90 L/h (f). Los demás (a, d y e), mostraron formas y estructuras variadas e irregulares, siendo más diferentes los zumos atomizados a 125°C y 4,42 kg/cm<sup>2</sup>.

El aumento en la temperatura de entrada resultó en una mejor conformación de las partículas de los polvos. Lozano (2009), obtuvo mejoras considerables a respecto, al incrementar la temperatura de 160 a 200°C en zumos de *Opuntia stricta*. Informa que las partículas adquieren una configuración espacial esférica y que el grado de pegajosidad disminuye notablemente cuando se trabaja a temperatura de entrada igual a 200 °C, en comparación a una de 160°C. Contrario a estos resultados, Paini *et al.*, (2015), encontró un aumento de tamaño y una mayor degradación de la estructura esférica de las partículas secadas a 160°C en comparación a 130°C, en compuestos fenólicos de orujo de oliva atomizados. Explica que esto conduce a una mayor porosidad en el producto, y consecuentemente a una menor densidad aparente de las micropartículas y menciona que al aumentar el caudal de alimentación de 5 a 10 ml/min ocurre un efecto contrario.

En esta investigación, el incremento del caudal de alimentación de 0,85 a 0,90 L/h provocó un aumento del tamaño de partícula. Miravet (2009), observó un hecho similar en zumo de granada atomizado a 0,72 y 1,08 L/h. Indica que este aumento es debido a la mayor velocidad de alimentación, que da lugar a la entrada de más cantidad de producto.



**Figura 3.** Fotografías MEB de las muestras de zumo de lima atomizadas en 1,2 % de Agente Encapsulante de Pulverizado de Mesocarpo de Pomelos a diferentes condiciones de secado. (a) 125°C; (b) 145°C; (c) 4,00 kg/cm<sup>2</sup>; (d) 4,42 kg/cm<sup>2</sup>; (e) 0,8 L/h; (f) 0,9 L/h; (g) Condiciones intermedias: 135°C, 4,21 kg/cm<sup>2</sup>, 0,85 L/h; (h) 1,2% de Maltodextrina DE-10 en condiciones intermedias: 135°C, 4,21 kg/cm<sup>2</sup>, 0,85 L/h. Magnificación 1000X.

Lozano (2009), también obtuvo resultados similares y expresa que el caudal de alimentación condiciona el grado de pegajosidad; así, a los valores más elevados de su estudio (9 ml/min) consiguió partículas más esféricas y separadas.

El resultado obtenido en el caudal 0,80 L/h es muy parecido al reportado por Miravet (2009) en zumo de granada con 1,25% de nutriosa atomizado a un caudal de 0,72 L/h y 160°C de temperatura de entrada y al hallado por Lozano (2009), en zumo de *Opuntia stricta* secado bajo distintas condiciones: caudal de alimentación de 5; 7 y 9 ml/min, caudal de atomización de 3; 4 y 5 cm y temperatura de entrada de 200°C. No obstante, este autor argumenta que estas partículas presentan configuración espacial esférica.

Lozano (2009), no obtuvo tamaños de partículas muy diferentes aplicando distintas condiciones de secado en zumo de *Opuntia stricta*: caudal de alimentación de 5; 7 y 9 ml/min, caudal de atomización de 3; 4 y 5 cm y temperatura de entrada de 160°C. Sin embargo, no consiguió partículas libres que no mostraran pegajosidad. De igual modo, Paini *et al.* (2015), obtuvo agregación de las micropartículas en todas las muestras, evaluando polifenoles de orujo de oliva encapsulados a diferentes temperaturas de entrada (130°C y 160°C) y flujos de alimentación (5 ml / min y 10 ml / min). Relacionan este fenómeno con bajas temperaturas de transición vítrea de los agentes de revestimiento.

### **3.5 Resultados del Tamaño de las Partículas de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado**

La encapsulación por secado por aspersion produce partículas de buena calidad y con tamaños menores de 40 micrómetros (Zuidam y Heinrich, 2009), características que son deseables desde el punto de vista sensorial y textural de los productos finales (Ray *et al.*, 2016). La influencia de las variables del proceso de secado por aspersion: caudal del líquido de entrada, caudal de aire de atomización y temperatura y humedad del aire de entrada al cilindro de atomización, afectará el tamaño de partícula del producto final (Masters, 2002).

En este estudio, como se aprecia en la **Tabla 5**, la temperatura de entrada evaluada tiene influencia sobre el tamaño de las partículas de los polvos de zumo de lima atomizado, obteniéndose un rango de  $3,07 \pm 0,52$  a  $7,37 \pm 1,19$   $\mu\text{m}$ .

**Tabla 5.-** Diámetros de Partículas de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado en relación a la Temperatura de Entrada.

Temperatura Entrada (°C)	Diámetro de las Partículas ( $\mu\text{m}$ )
125	$7,37 \pm 1,19^a$
135	$3,07 \pm 0,52^c$
145	$5,82 \pm 0,58^b$
MD a 135	$5,75 \pm 0,17^b$

Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 10$ )  $\pm$  DE.

Como puede notarse en la **Tabla 5**, los menores tamaños de las partículas se obtuvieron a temperaturas de entrada de  $135^\circ\text{C}$  en el polvo de zumo de lima con encapsulante de mesocarpio de pomelo. A excepción del zumo atomizado a  $125^\circ\text{C}$ , se observa una relación directa entre el diámetro de las partículas con las temperaturas de entrada estudiadas. Estos resultados coinciden con los de Santhalakshmy *et al.*, (2015), quienes encontraron una relación directa entre el tamaño de las partículas y la temperatura de entrada y diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos, en muestras de polvo de jamun secados por aspersion a temperaturas de entrada de  $140$  a  $160^\circ\text{C}$ . Sin embargo, estos autores reportan diámetros promedios de partículas de  $0,145$  a  $0,463$   $\mu\text{m}$ , que son menores a los de esta investigación.

Una posible explicación a este hecho sería que, si la temperatura de entrada es menor, la partícula permanece húmeda durante un período de tiempo más largo y se contrae, disminuyendo así su tamaño, según argumentan Nijdam & Langrish (2006).

Los resultados de este estudio son distintos a los hallados por Hashib *et al.*, (2015), en cuya investigación, el tamaño de partícula de los polvos de piña disminuyó a temperaturas de entrada más altas ( $130$ ,  $140$  y  $150^\circ\text{C}$ ) y diferentes también a los

obtenidos por García-Cárdenas *et al.*, (2015), quienes informan que los tamaños de partículas de sabor cítrico de mandarina encapsulado a temperaturas del aire de entrada de 156-213°C oscilaron entre 0,6 y 2,7  $\mu\text{m}$ . El análisis estadístico del tamaño medio de las partículas del sabor de mandarina no mostró diferencia significativa para este factor.

La **Tabla 6** contiene los resultados del tamaño de las partículas de los polvos de zumo de lima encapsulado respecto al caudal de atomización.

**Tabla 6.**-Temperaturas de Transición Vítrea de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado en relación al caudal de atomización.

Caudal de Atomización (kg/cm <sup>2</sup> )	Diámetro de las Partículas ( $\mu\text{m}$ )
4,00	3,13 $\pm$ 0,31 <sup>c</sup>
4,21	3,07 $\pm$ 0,52 <sup>c</sup>
4,42	7,55 $\pm$ 0,47 <sup>a</sup>
MD a 4,21	5,75 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup>

Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 10$ )  $\pm$  DE.

Se observa que las presiones de aire de atomización evaluadas influyeron en el diámetro de las partículas de los zumos de lima deshidratados. Esta variable muestra una tendencia directamente proporcional a la presión de aire aplicada, con excepción del caudal 4,21 kg/cm<sup>2</sup>.

Los valores hallados están en el rango de 3,07  $\pm$  0,52 a 7,55  $\pm$  0,47  $\mu\text{m}$ . Ordoñez y Herrera (2014), reportan tamaños de partículas de 2 a 13  $\mu\text{m}$  para matrices encapsuladas en concentrado de proteína de suero y concentrado de proteína de suero con fécula de yuca y limoneno, a presión de atomización de 4,59 kg/cm<sup>2</sup>.

En la **Tabla 7** se muestran los resultados del diámetro de las partículas en relación al caudal de alimentación utilizado para la atomización de los zumos de lima. Se observa igual comportamiento que en la temperatura de entrada (**Tabla 5**). El caudal intermedio resultó en el menor diámetro de partículas de los zumos atomizados.

**Tabla 7.**-Diámetros de las Partículas de los Polvos de Zumo de Lima Encapsulado en relación al caudal de alimentación.

Caudal de Alimentación (L/h)	Diámetro de las Partículas ( $\mu\text{m}$ )
0,80	$7,19 \pm 1,32^a$
0,85	$3,07 \pm 0,52^c$
0,90	$5,79 \pm 0,26^b$
MD a 0,85	$5,75 \pm 0,17^b$

Letras iguales entre filas indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P > 0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Los datos analizados están expresados como medias ( $n = 10$ )  $\pm$  DE.

Los valores hallados para las partículas de polvo de lima van de  $3,07 \pm 0,52$  a  $7,19 \pm 1,32 \mu\text{m}$ , que son menores a los reportados por Obon *et al.*, (2009), quienes obtuvieron promedios de partículas de 10 a 12 mm para el jugo de pera de cactus (*Opuntia stricta*), producido por secado por aspersion a velocidad de alimentación de líquido de 0,72 L / h.

Osorio *et al.*, 2010, utilizando la técnica de microencapsulación por spray drying para pigmentos tipo antocianina del Corozo (*Bactris guineensis*), con flujo de alimentación de 0,6 L / h, obtuvieron tamaños de partículas menores de 50  $\mu\text{m}$ .

García-Cárdenas *et al.*, (2015), informa que los tamaños de partículas de sabor cítrico de mandarina encapsulado a velocidad de atomización (23000 - 35000 rpm), equivalentes a 2300 - 3500 L / h, oscilaron entre 0,6 y 2,7  $\mu\text{m}$ .

#### 4. Conclusión

La temperatura de entrada no influye sobre el contenido de sólidos solubles, porcentaje de humedad ni de cenizas. El caudal de alimentación no tiene efecto sobre los sólidos solubles, proteínas, cenizas ni Tg y el caudal de atomización afecta a todas las variables de respuesta evaluadas (rendimiento, pH, actividad de agua, sólidos solubles, humedad, proteínas, cenizas, hidratos de carbono, ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y temperatura de transición vítrea).

El incremento en la temperatura de entrada provocó un aumento en el rendimiento del zumo de lima encapsulado; el mayor rendimiento se produjo a temperatura de entrada de aire de 135 °C con caudal de atomización 4,21 kg/cm<sup>2</sup> y caudal de alimentación de 0,85 L/h.

Las Tg de los productos sugieren que deben ser almacenados a bajas temperaturas para evitar cambios estructurales como pegajosidad, gomosidad y colapso.

Los polvos de zumo de lima persa microencapsulados con diferentes condiciones de secado, mostraron formas y estructuras variadas e irregulares, presentando las formas esféricas mejor definidas en los secados a temperaturas de entrada de 135 °C y 145 °C, caudales de atomización de 4,00 kg/cm<sup>2</sup> y 4,21 kg/cm<sup>2</sup> y caudales de alimentación de 0,85 L/h y 0,90 L/h.

Los panelistas encontraron diferencias en el sabor, color y olor de los zumos de lima encapsulados bajo distintas operaciones de proceso y rehidratados, respecto al zumo de lima fresco (recién exprimido). Los más parecidos al zumo fresco fueron los tratados a 125 °C y a 0,90 L/h, en cuanto a sabor, el obtenido empleando una presión de atomización de 4,42 kg/cm<sup>2</sup>, para el color y el secado a 145 °C para el olor.

## **5. Agradecimientos**

A la Universidad de Murcia y la Universidad Politécnica de Cartagena, por el auspicio de los análisis de microscopía electrónica de barrido y de calorimetría diferencial.

## 6. Referencias

1. Akkaya, Z., Schröder, J., Tavman, S., Kumcuoglu, S., Schuchmann, H. y Gaukel, V. 2012. Effects of spray drying on physical properties, total phenolic content and antioxidant activity of carob molasses. *Int J Food Eng*, 8(4), 1-13.
2. Alcantara, Y., Alcantara, Y. y Escotto, A. 2015. Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Toronjas (*Citrus paradisi* Macf) Sobre Características Bromatológicas del Zumo de Limón (*Citrus latifolia* Tanaka) Encapsulado. Tesis de Maestría. Universidad ISA.
3. Alcantara, Y., Alcantara, Y. y Escotto, A. 2014. Efecto de dos Métodos de Deshidratación y dos Grosos de Lámina de Mesocarpio de Toronja Criolla (*Citrus paradisi* Macf) sobre Características Físicoquímicas de un Agente Encapsulante. Professional Postgraduate Report. ISA University.
4. Alcantara, Y. y Tejada, J. 2012. Establecimiento de Protocolos para la Conservación de Ácidos Naturales de Cítricos. FONDOCYT, República Dominicana.
5. AOAC International: "Official Methods of Analysis". 2000. 17ªed. Gaithersburg, USA.
6. AOCS. 1990. In: Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society (4th ed.). Champaign: American Oil Chemists' Society.
7. Armadans Rojas, A.; Ruiz Samudio, F. 2009. Evaluación de la calidad de fruto de la lima tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka) sobre dos portainjertos diferentes. Investigación Agraria, vol. 11 n° 2. Vol. 11, Núm. 2.
8. Barbosa, J., Borges, S., Amorim, M., Pereira, M., Oliveira, A., Pintado, M. y Teixeira, P. 2015. Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. *Journal of Functional Foods*, 17, 340-351.
9. Bhandari, B., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., Rigby, S. 1997. A semi-empirical approach to optimise the quantity required to spray dry sugar-rich foods, *Dry. Technol.* 15 (10) 2509–2525.
10. Bhandari, B. y Howes, T. 1999. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40(1), 71-79.
11. Bhusari, S. N., Muzaffar, K., & Kumar, P. 2014. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder technology*, 266, 354-364.
12. Caez, K. y Jaraba, N. 2012. Microencapsulación del Jugo de Mango (*Mangifera indica* L.) para la Obtención de un Concentrado con la Utilización de Maltodextrina como Material Pared. Tesis de Grado. Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias D. T. y C.
13. Carolina, B., Carolina, S., Zamora, M. & Jorge, C. 2007. Glass transition temperatures and some physical and sensory changes in stored spray-dried encapsulated flavors. *LWT-Food Science and Technology*, 40(10), 1792 - 1797.

14. Castellano, G., Ramírez, R., Sindoni, V., María, J., Hidalgo, L., Pablo, R., Burgos, M., Marín, R.; Núñez-Castellano, K.; Martínez, L. 2016. Efecto de la Temperatura de Almacenaje sobre las Características Organolépticas de Frutos de Limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 8-14. ISSN 1665-0204.
15. Chegini, R., Ghobadian, B. 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World J Agric Sci* 3:230–236.
16. Cortés, R. y Chiralt, A. 2008. Cinética de los Cambios de Color en Manzana Deshidratada por Aire Fortificada con Vitamina E. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. Universidad de Antioquía. Medellín, Colombia*.
17. Cynthia, S., Bosco, J. y Bhol, S. 2015. Physical and Structural Properties of Spray Dried Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Pulp Extract Powder with Encapsulating Hydrocolloids. *International Journal of Food Properties*, 18(8), 1793-1800.
18. De Torres, M. 2009. Deshidratación de productos derivados de la uva y estudio de su calidad y estabilidad. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla – La Mancha, Ciudad Real.
19. Del Juncal, D. 2016. Microencapsulación de polifenoles contenidos en jugo de zapote negro (*Diospyros dgyna* jacq.) utilizando almidones modificados de arroz mediante secado por aspersión para su incorporación en un yogur natural.
20. Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P. y Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Analytical Chemistry*, 28(3); 350-356.
21. Fang, Z. y Bhandari, B. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, 129(3), 1139-1147.
22. Favaro, C., Santana, A., Monterrey, E., Trindade, M. y Netto, F. 2010. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 336-340.
23. Fennema, O. 2000. *Química de los alimentos* (No. 664.07 F335q). 2ª edición. Zaragoza, España: Acribia.
24. García, C., González, M., Ochoa, L. y Medrano, H. 2004. Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *CYTA-Journal of Food*, 4(4), 262-266.
25. García-Cárdenas, J., Ciro-Velásquez, H. y Largo-Ávila, E. 2015. Encapsulation of mandarin Citrus flavor using spray drying technology and different wall materials. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 251-260.
26. García, F. 2005. Evaluación in vitro e in vivo de la funcionalidad de un producto rico en antioxidantes. Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Murcia, España.
27. Ghasemi, K., Ghasemi, Y. y Ebrahimzadeh, M. 2009. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 *Citrus* species peels and tissues. *Pak J Pharm Sci*, 22(3), 277-281.

28. González, H., González, S. y Rosales, T. 2011. Caracterización de Compuestos Volátiles Durante el Secado por Aspersión de Jugo de Sandía (*Citrullus lanatus* T.). *Investigación y Ciencia* 51(19): 10-15.
29. Goula, A. y Adamopoulos, K. 2012. A method for pomegranate seed application in food industries: seed oil encapsulation. *Food bioproducts processing*, 90, 639-652.
30. Goula, A. y Adamopoulos, K. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.
31. Hart, F. y Fisher, H. 1971. *Análisis Moderno de los Alimentos*. Editorial Acribia. I.S.B.N.:84-200-0297-6.
32. Hashib, S., Rahman, N., Suzihaque, M., Kalthum, U., e Ibrahim, N. 2015. Effect of Slurry Concentration and Inlet Temperature towards Glass Temperature of Spray Dried Pineapple Powder. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 195; 2660 – 2667.
33. Hung, C. y Yen, G. 2002. Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Isolated from Mesona Procumbens Hemsl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 10, p. 2993 -2997.
34. ICONTEC. 2007. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Análisis Sensorial. Metodología. Guía Técnica Colombiana (GTC 165, 2007-08-29)*. <http://es.scribd.com/doc/56653357/GTC-165-Analisis-sensorial-Metodologia-guia-general#scribd>
35. Jun-xia, X., Hai-yan, Y. y Jian, Y. 2011. Microencapsulation of Sweet Orange Oil by Complex Coacervation with Soybean Protein Isolate/gum Arabic. *Food Chem* 125; 1267-1272.
36. Kaushik, V. y Roos, Y. 2007. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8), 1381 - 1391.
37. Lee, K., Yoon, Y., Li, F. y Eun, J. 2016. Effects of inlet air temperature and concentration of carrier agents on physicochemical properties, sensory evaluation of spray-dried mandarin (*Citrus unshiu*) beverage powder. *Applied Biological Chemistry*, 1-8.
38. Liu, M., Li, X., Weber, C., Lee, C., Brown, J. and Liu, R. 2002. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Raspberries. *J. Agric. Food Chem.* 50:2926-2930.
39. Lozano, M. 2009. *Obtención de Microencapsulados Funcionales de Zumo de Opuntia stricta Mediante Secado por Atomización*. Tesis. Universidad Politécnica de Cartagena.
40. Mahendran, T. 2010. Physico-chemical properties and sensory characteristics of dehydrated guava concentrate: effect of drying method and maltodextrin concentration. *Trop Agric Res Ext* 13(2):48–54.
41. Masters, K. 1991. *The spray drying handbook*. New York: Longman Scientific and Technical.
42. Masters, K. 2002. *Spray Drying in Practice*. Ed. SprayDryConsult International ApS, Charlottenlund, Dinamarca.

43. Méndez, C. 1972. Ensayos de Deshidratación por Rociada del Jugo de Limón Sutil. Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú).
44. Mendoza-Corvis, F., Arteaga, M. y Pérez, O. 2016. Comportamiento de la vitamina C en un producto a base de lactosuero y pulpa de mango variedad Magdalena River (*Mangifera indica*) durante el secado por aspersión. *Revista chilena de nutrición*, 43(2), 159-166.
45. Ministerio de Agricultura de la República Dominicana. 2015. Departamento de Seguimiento, Control y Evaluación. Producción por Cultivo. <http://www.agricultura.gob.do/estadisticas/siembra-cosecha-y-produccion-agropecuaria/>
46. Miravet, G. 2009. Secado por atomización de zumo de granada. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Cartagena. España.
47. Mizumoto, T., Tamura, T., Kawai, H., Kajiyama, A. e Itai, S. 2008. Formulation design of taste-masked particles, including famotidine, for an oral fast-disintegrating dosage form. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 56(4), 530-535.
48. Nijdam, J., & Langrish, T. 2006. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 919-925.
49. Obón, J., Castellar, M., Alacid, M., & Fernández-López, J. 2009. Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 471-479.
50. Ordoñez, M., & Herrera, A. 2014. Morphologic and stability cassava starch matrices for encapsulating limonene by spray drying. *Powder technology*, 253, 89-97.
51. Ortiz, S., Mauri, A., Monterrey, E., Trindade, M., Santana, A. y Favaro, C. 2009. Production and properties of casein hydrolysate microencapsulated by spray drying with soybean protein isolate. *LWT-Food Science and Technology*, 42(5), 919-923.
52. Osorio, C., Acevedo, B., Hillebrand, S., Carriazo, J., Winterhalter, P., Morales, L. Microencapsulation by spray-drying of anthocyanin pigments from corozo (*Bactris guineensis*) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58, 6977-6985.
53. Paini, M., Aliakbarian, B., Casazza, A., Lagazzo, A., Botter, R. y Perego, P. 2015. Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: a study of operative parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 177-186.
54. Pasrija, D., Ezhilarasi, P., Indrani, D. y Anandharamakrishnan, C. 2015. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 289-296.
55. Patil, V., Chauhan, A., Singh, R. 2014. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technol. Elsevier B.V.*; 253:230-6.

56. Phisut, N. 2012. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product, In. *Food Res. J.* 19 (4); 1297-1306.
57. Pinillos, K. y Polo, R. 2014. Identificación de la temperatura óptima de secado y cuantificación del porcentaje de vitamina C en el zumo de limón secado por atomización.
58. Ray, S., Raychaudhuri, U. y Chakraborty, R. 2016. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76-83.
59. Rivas, C. 2010. Microencapsulación y Estabilización Enzimática del Jugo de Chirimoya (*Annona cherimola* Mill). Instituto Politécnico Nacional. México.
60. Rocha, G., Trindade, M., Netto, F. y Favaro, C. 2009. Microcapsules of a Casein Hydrolysate: Production, Characterization, and Application in Protein Bar. *Food Science and Technology International*.
61. Roos, Y. 1993. Water activity and physical state effects on amorphous food stability. *Journal of Food Processing and Preservation*, 16(6), 433-447.
62. Routray, W. y Orsat, V. 2012. Microwave -assisted extraction of flavonoids: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 409-424.
63. Santhalakshmy, S., Bosco, S., Francis, S. y Sabeena, M. 2015. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 274, 37-43.
64. Sagar V. y Kumar, P. 2010. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *J Food Sci Technol.* 47(1):15–26
65. Subtil, S., Rocha, G., Thomazini, M., Trindade, M., Netto, F. y Favaro, C. 2014. Effect of spray drying on the sensory and physical properties of hydrolysed casein using gum arabic as the carrier. *Journal of food science and technology*, 51(9).
66. Tonon, R., Brabet, C. y Hubinger, M. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai powder produced by spray drying. *J Food Eng* 8:411–418.
67. Tonon, R., Brabet, C., Pallet, D., Brat, P. y Hubinger, M. 2009. Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. *International journal of food science & technology*, 44(10), 1950-1958.
68. Tonon, R., Brabet, C. y Hubinger, M. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents, *Food Res. Int.* 43; 907–914.
69. Villacrez, L. 2013. Desarrollo de microencapsulados por spray drying a partir de frutos de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) (Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia).
70. Villarreal, A., Agudelo, M., Jiménez, J., Valenzuela, L. y Ladino, N. 2017. Desarrollo de alimento funcional a

partir de productos promisorios andinos. *Alimentos Hoy*, 24(39), 73-84.

71. Whistler, R. y Daniel, J. 1997. Starch, Kirk-Othmer Encyclopaedia of Chemical Technology, Vol. 22 (M. Howe-Grant, Ed.).

72. Zapata, K., Rojano, B. y Cortes, F. 2015. Efecto Térmico del Secado por Aspersión sobre los Metabolitos Antioxidantes de la Curuba Larga (*Passiflora mollissima* baley). *Información tecnológica*, 26(1), 77-84.

73. Zuidam, N. J., & Heinrich, E. (2010). Encapsulation of aroma. In *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing* (pp. 127-160). Springer New York.

**-Capítulo 4**

***Evaluación de la estabilidad de los polvos de zumo de lima (*Citrus latifolia* Tanaka) encapsulados en pulverizado de mesocarpo de pomelos (*Citrus paradisi* Macf), durante el almacenamiento a diferentes temperaturas***

## 1. Introducción

Uno de los frutos que presenta mayor aceptación en el mercado dominicano, principalmente por sus propiedades sensoriales, curativas y por la diversidad de usos a nivel doméstico (culinario y medicinal), y como materia prima para la elaboración de bebidas, infusiones, entre otros, es la lima Persa (*Citrus latifolia* Tanaka). Su cultivo constituye una especie de importancia comercial. Según el Ministerio de Agricultura de la República Dominicana (2017), la superficie sembrada en el país durante el 2016 fue de 10.632 tareas. En ese mismo año, dicho Ministerio registra un área de 115.910 tareas cosechadas de lima.

La producción de lima es estacional, es un fruto no climatérico y de vida comercial muy corta. Una de las formas de contribuir a la conservación de las características del zumo de lima persa y de mantener la disponibilidad del zumo de esta fruta, es mediante secado por aspersión. Este proceso resulta en polvos con baja actividad de agua, buenas características reconstitucionales y adecuadas para el almacenamiento (Tonon *et al.*, 2010), sin embargo, presenta desafíos como el tipo y concentración del material de recubrimiento, las operaciones de proceso durante el secado, la selección del material de empaque y las condiciones de almacenamiento.

Considerando estos desafíos, Alcántara *et al.*, (2014), obtuvieron y caracterizaron el pulverizado de mesocarpo de pomelos deshidratado en horno de bandejas, para su posible inclusión como agente encapsulante, siendo esta una alternativa a los agentes de recubrimiento existentes en el mercado, al mismo tiempo que se aprovecha un subproducto generado en el procesamiento industrial del pomelo, se le agrega valor y posibilita la industrialización y comercialización de un producto alternativo más duradero y que conserve al máximo las propiedades del zumo encapsulado. Encontraron que presentó la apariencia y características fisicoquímicas adecuadas para ser considerado como tal.

En este sentido, Alcántara *et al.*, (2015), evaluaron diferentes concentraciones de ese producto en el secado por aspersión del zumo de lima persa, indicando que, de las concentraciones evaluadas, la más prometedora a efectos de mejor rendimiento y protección adecuada del núcleo, era 1,2 %. Posteriormente y como una continuidad a

los estudios mencionados, en el capítulo anterior se estudió la optimización del proceso y caracterización del zumo de lima encapsulado en pulverizado de mesocarpio de pomelos (*Citrus paradisi* Macf), a diferentes temperaturas de entrada, presiones de aire de atomización y caudales de alimentación, resultando como mejores condiciones de secado para este producto una temperatura del aire de entrada de 135 °C, un caudal de atomización de 4,21 Kg/cm<sup>2</sup> y caudal de alimentación de 0,850 L/h.

Finalmente, en este capítulo se plantea la evaluación de la estabilidad o vida comercial de los zumos de lima atomizados bajo esas condiciones de deshidratación, a tres temperaturas de almacenamiento (25 y 30 °C y temperatura ambiental).

## **2. Materiales y Métodos**

### **2.1. Tipo de Estudio**

Esta investigación fue descriptiva observacional. Se evaluó la estabilidad de los zumos de lima persa encapsulados en pulverizado de mesocarpio de pomelo (*Citrus paradisi* Macf), durante 4 meses de almacenamiento a diferentes temperaturas (25 y 30 °C, y ambiental), en términos de los parámetros: pH, actividad de agua, contenido de hidratos de carbono, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y flavonoides totales.

### **2.2. Proceso seguido para obtener los polvos de Zumo de Lima (*Citrus latifolia* Tanaka)**

Se recibieron los limones en la planta de procesamiento de alimentos de la Universidad ISA y se les efectuó un pesado y una selección de acuerdo al color, tamaño y apariencia (sin defectos físicos), posteriormente fueron lavados y desinfectados utilizando agua con una concentración de 100 ppm de hipoclorito de sodio. Se dejaron escurrir durante 10 minutos. Se pesaron nuevamente, se partieron en dos mitades y se procedió a la extracción del jugo manualmente. El jugo obtenido fue filtrado utilizando un tamiz Tyler N° 32 Mesh (malla 32; contiene 32 orificios por cm; Mesh = número de alambres en una pulgada inglesa de malla=25,4).

Al jugo recién exprimido, se adicionó 0,5 % de fosfato tricálcico como antiadherente (para evitar la pegajosidad y disminuir la higroscopicidad del producto encapsulado) y 1,2 % de pulverizado de mesocarpo de pomelos como agente encapsulante. Se mezcló en una batidora eléctrica Osterizer 4655, a velocidad máxima durante 1 minuto, se filtró en un tamiz Tyler N° 32 Mesh, para retener cualquier posible partícula y evitar obstrucciones en la aguja para atomización del deshidratador y se procedió al proceso de secado por aspersión.

Las condiciones de secado se mantuvieron constantes: temperatura del aire de entrada 135 °C, presión del aire de aspersión de 3,4 bares, soplador de aire: 4,21 Kg/cm<sup>2</sup>, caudal de alimentación: 0,850 L/h, temperatura del aire de salida 75 °C. Tamaño de partículas según boquilla de 0,7 mm.

El polvo obtenido fue empacado y sellado a vacío inmediatamente. Se conservó a las distintas temperaturas de estudio (25 °C, 30 °C y ambiental) hasta su análisis.

### **2.3. -Determinación de la estabilidad de los zumos de lima persa encapsulados, almacenados a distintas temperaturas**

A los zumos de lima persa encapsulados en mesocarpo de pomelos se les realizó un ensayo de estabilidad en diferentes temperaturas de almacenamiento (25 y 30°C y temperatura ambiental) (**Tabla 1**); evaluando el pH, la actividad de agua, el contenido de hidratos de carbono, ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales y flavonoides totales al día 0 (en el mes de mayo) y cada 30 días, durante 4 meses (hasta septiembre). Todos los ensayos se realizaron por triplicado y el tiempo se expresó en meses.

**Tabla 1.-** Temperaturas promedio mensuales durante el tiempo de almacenamiento de los polvos de zumo de lima.

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Temperatura (°C)	21,2-33,1	22,4-33,8	22,2-34,3	22,8-35,6	22,4-34,8

#### **2.4 Variables Evaluadas**

- pH: se realizó por potenciometría, a una temperatura de 20 °C mediante el uso de un pH-metro Hach Sension<sup>+</sup> Ph1 5050t; se pesó 1 g del zumo encapsulado, se disolvió en 10 ml de agua destilada, se introdujo el electrodo en la solución y se anotó la lectura.

- Actividad de Agua (Aw): se determinó mediante un medidor Rotronic Hygro-Palm HP23, colocando 1g de zumo de lima encapsulado en la celda del aparato y esperando a que la lectura se estabilice.

- Hidratos de Carbono: se determinaron aplicando el método del fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956), cuyo procedimiento es el siguiente: pesar la muestra seca, transferirla cuantitativamente a una probeta graduada, adicionarle agua destilada y agitar. Luego, colocar la dispersión de la muestra en tubos de ensayo y adicionarle una solución acuosa de fenol al 5 %. Mezclar bien, adicionar ácido sulfúrico concentrado, homogeneizar y dejar enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, determinar la intensidad del color naranja obtenido en un colorímetro a 480 nm, frente a un blanco preparado de la misma manera utilizando agua. Calcular la cantidad de carbohidratos presentes en la muestra a partir de una curva patrón preparada con el carbohidrato de interés, tratada de la misma manera que el problema.

- Ácido Ascórbico: fue evaluado por el método reportado por Hung y Yen (2002). Se preparó la curva de calibración utilizando ácido ascórbico, ácido oxálico y agua destilada. Se ajustó la absorbancia a cero, se prepararon las muestras (100 µL de extracto acuoso, con 900 µL de 2,6 diclorofenolindofenol) y se midió la vitamina C en el espectrofotómetro HACH DR 3900, a una longitud de onda de 515 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico equivalentes por gramo de muestra.

- Compuestos Fenólicos Totales: se empleó la técnica de Folin-Ciocalteu (AOCS, 1990), que consiste en preparar primero la curva de calibración utilizando una solución estándar de ácido gálico (0,1 mg/ml); luego diluir las muestras en agua destilada,

adicionar el reactivo de Folin-Ciocalteu 1N. A continuación, adicionar  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20 % y dejar reposar por 2 horas. Determinar los fenoles en la muestra midiendo la absorbancia a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalentes por g de muestra.

- Contenido de Flavonoides: fue determinado con el método de Liu *et al.*, 2002: se preparó una curva de calibración utilizando una solución estándar de quercetina (0,1 mg/ml); se pesó la muestra, se disolvió en agua destilada y luego se diluyó. Después se adicionó  $\text{NaNO}_2$  al 5 % y se dejó reposar 6 minutos. Se adicionó  $\text{AlCl}_3$  al 10 % y se dejó reposar 5 minutos. Luego se adicionó  $\text{NaOH}$  1M y finalmente se completó el volumen a 2,5 ml con agua destilada. A continuación, se midió la absorbancia a 510 nm inmediatamente antes de 30 minutos. Los resultados fueron expresados en mg de quercetina equivalentes por g de muestra.

### **2.5 Análisis Estadístico**

Todos los ensayos fueron realizados 3 veces y los resultados fueron expresados como medias aritméticas de los parámetros para cada temperatura de almacenamiento en función del tiempo. Se utilizó el programa Excel 2016 para Windows.

## **3. Resultados y Discusiones**

### **3.1 -Resultados para la estabilidad de las características de los zumos de lima encapsulados, almacenados a distintas temperaturas**

Según se presenta en la **Gráfica 1**, el pH de los zumos mostró igual comportamiento en las tres temperaturas evaluadas. Esta característica fue aumentando paulatinamente con el transcurso del tiempo. A partir del tercer mes, los productos almacenados a las 3 temperaturas estaban fuera del rango donde, de acuerdo con Vázquez (2007), se incluyen los productos ácidos ( $\text{pH} < 3,7$ ).

Los resultados de la estabilidad del pH de esta investigación coinciden con el comportamiento reportado por Alcantara y Tejada (2015), para zumos de lima persa

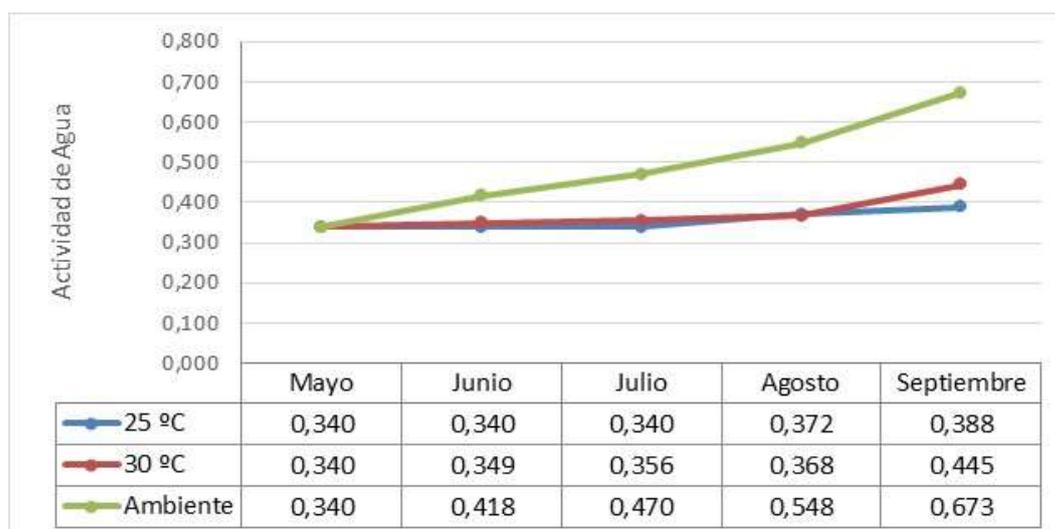
microencapsulados, almacenados durante 4 meses a temperatura ambiente; no obstante, el rango obtenido fue de 2,8 a 3,3 en el estudio de los autores mencionados.



**Gráfica 1.** Resultados estabilidad del pH del zumo de lima encapsulado, almacenado a diferentes temperaturas.

En la **Gráfica 2** es notorio que, en general, la tendencia de la actividad de agua mostrada por los polvos de zumo de lima, fue hacia el aumento en el tiempo evaluado. A partir del segundo mes, los almacenados a 25 y 30 °C alcanzaron el equilibrio, manteniendo valores similares y por debajo de 0,60 durante el período estudiado, siendo el conservado a la menor temperatura el que mostró menos variación. Queck *et al.*, (2007), informa que normalmente, los alimentos con actividad de agua inferior a 0,60 se consideran microbiológicamente estables y que, por lo tanto, cualquier deterioro se debe a reacciones químicas en lugar de microorganismos.

En esta investigación, la mayor *aw* siempre fue observada en los microencapsulados almacenados en condiciones ambientales, debido quizás a las variaciones de temperatura que experimentaron, tanto por debajo (21,2 -22,8 °C), como por encima (33,1 – 35,6 °C), de las demás evaluadas, que al final del mes 4 provocaron la superación del límite de actividad de agua (0,600) requerido por los productos para el inicio de las reacciones de deterioro microbiano.



**Gráfica 2.** Resultados estabilidad de la actividad de agua del zumo de lima encapsulado, almacenado a diferentes temperaturas.

Villacrez (2013), encontró que a menor temperatura menor actividad de agua presentaban los polvos de mora de castilla almacenados a 4 °C y a temperatura ambiente. En tan sólo 5 días, este parámetro aumentó de 0,235 hasta valores cercanos a 0,600. Indica que, en estos valores, los productos microencapsulados se encuentran totalmente hidratados y que pierden su morfología y características de sólidos fácilmente manipulables. El tiempo de vida útil de los zumos de lima fue mayor que los resultados reportados por dicho autor.

Los resultados pueden deberse a que los zumos atomizados fueron almacenados a temperaturas muy cercanas a su  $T_g$ , se evidencia que cuanto más baja fue la temperatura, hubo mejor estabilidad en relación a este parámetro. En este sentido, Delgado *et al.*, (2016), explican que conocer la  $T_g$  es esencial para asegurar que el sistema se mantenga bajo esa temperatura en condiciones adecuadas, evitando de este modo efectos negativos sobre la estabilidad física del producto y disminuyendo su deterioro, al tiempo que aumenta la vida útil. En los zumos almacenados a temperatura ambiente, en ocasiones la temperatura de conservación superó la de  $T_g$  de los productos, haciéndolo más inestable.

Por otro lado, los zumos de lima persa deshidratados por aspersion mostraron un comportamiento decreciente en el contenido de hidratos de carbono,

observándose un cambio más pronunciado en los productos almacenados a 30 °C, cuyo valor descendió de 24,271 a 8,257 mg de glucosa equivalente/g de muestra seca, en un período de 4 meses de almacenamiento. Mientras que, los polvos almacenados a 25 °C y temperatura ambiente, presentaron una tendencia muy similar entre sí, disminuyendo de 24,271 a 13,502 y 12,732 mg de glucosa equivalente/g de muestra seca, respectivamente, durante ese mismo período (**Gráfica 3**).



**Gráfica 3.** Resultados estabilidad del contenido de hidratos de carbono del zumo de lima encapsulado, almacenado a diferentes temperaturas.

Estos resultados probablemente son debidos a que los polvos fueron almacenados a temperaturas muy próximas a su Tg, lo que los hace más susceptibles a la higroscopicidad a través del tiempo. Delgado *et al.*, (2016), expresa que durante el almacenamiento la presencia de agua en el material disminuye la Tg a una temperatura que puede estar cerca o por debajo de la temperatura de conservación.

Naddaf *et al.*, (2012), encontraron una disminución promedio de 19,76% respecto al valor inicial del contenido de azúcares totales del jugo de naranja microencapsulado con maltodextrina al 5% y 7%. Indican que esta pérdida pudo estar ocasionada por la degradación de los azúcares como glucosa y fructosa presentes en la muestra que originaron otros productos, ya que la fructosa se descompone a altas

temperaturas más fácil que la sacarosa y tiene una marcada inclinación a dar reacciones de Maillard (Fennema, 2000).

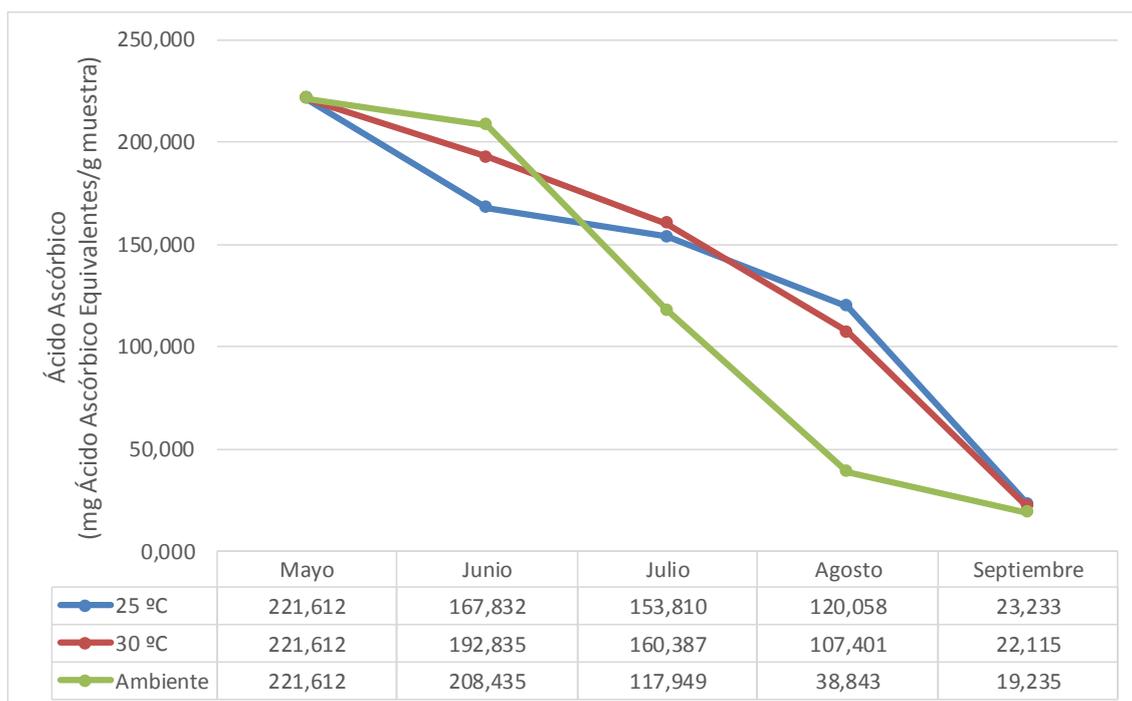
Según Giraldo (1999), el agua acelera las reacciones de Maillard facilitando la movilidad de las moléculas en el pardeamiento no enzimático, y disminuye el efecto del pardeamiento por dilución de las moléculas. La rata de pardeamiento aumenta por lo general con el aumento de  $a_w$ , para valores bajos de ella alcanza un óptimo entre 0,4 y 0,8 y a partir de este valor comienza a disminuir al incrementar la actividad de agua. Marqués *et al.*, (2007) y Caliskan y Dirim (2013), informan que de 0,2 a 0,4 se asegura la estabilidad del producto frente a reacciones de oscurecimiento e hidrolíticas, de oxidación de lípidos, auto-oxidación y actividad enzimática.

Respecto al ácido ascórbico, es bien sabido que se degrada con el tiempo de almacenamiento. Los zumos de lima atomizados, sólo mantuvieron de 8,68 a 10,48 % del contenido total inicial de este componente al momento de ser almacenados (**Gráfica 4**), perteneciendo estos valores a los polvos conservados a temperatura ambiental y a 25 °C, respectivamente. A partir del tercer mes de almacenamiento, los productos habían perdido más del 50 % de ácido ascórbico inicial, a excepción del conservado a 25 °C, cuya pérdida fue de 45,83 % en el tiempo mencionado.

Los polvos fueron empacados a vacío previo a su conservación; sin embargo, se observó que, con el transcurso del tiempo, el vacío se perdía, pudiendo esta ser una causa de la disminución del contenido de ácido ascórbico, ya este posee elevada susceptibilidad a la oxidación en presencia de oxígeno e iones metálicos (Guiguem y Birlouez-Aragon, 2005).

Según Naddaf *et al.*, (2012), las pérdidas de ácido ascórbico pueden ser causadas porque las vitaminas son compuestos muy sensibles al calor; siendo parcialmente destruidas y el grado de destrucción depende del cuidado en el proceso térmico, del proceso de deshidratación seleccionado y de las condiciones de almacenamiento para los alimentos secados. Además, los factores que pueden influir en la naturaleza del mecanismo de degradación de este compuesto incluyen la temperatura, concentración de sal y azúcar, pH, oxígeno, enzimas y metales (Priestley, 1979; Steaven, 1988; Steaven y col., 1985; Belitz y Grosch, 1999).

Romero (2008), encontró disminuciones significativas del contenido de vitamina C en fórmulas infantiles de continuación y crecimiento a partir del primer mes de almacenamiento a 30 y 37 °C y a partir del segundo mes a una Tª de 23 °C, manteniendo las diferencias durante el resto del periodo de almacenamiento. Reporta valores menores de ácido ascórbico en función del incremento de la temperatura de conservación, siendo los 37 °C donde se mostraron las mayores pérdidas.



**Gráfica 4.** Resultados estabilidad del contenido de ácido ascórbico del zumo de lima encapsulado, almacenado a diferentes temperaturas.

En la **Gráfica 5** puede notarse la tendencia seguida por el contenido de compuestos fenólicos totales de los polvos durante su conservación a distintas temperaturas. Se aprecia que los zumos almacenados a 25 y 30 °C mostraron un comportamiento idéntico en el período total de almacenamiento y el conservado a temperatura ambiente fue igual a los demás el primer mes. Este tuvo una brusca caída a partir del segundo mes, disminuyendo de 126,027 hasta 89,301 mg ácido gálico equivalente/g muestra seca y adquiriendo un valor de 53,22 mg ácido gálico equivalente/g muestra seca al término del tiempo de almacenamiento.

Los polvos conservados a 25 y 30 °C se mantuvieron estables durante los primeros 2 meses y su marcada disminución inició al tercer mes, variando ligeramente

al final del tiempo evaluado. El valor menor fue presentado por el polvo almacenado a 30 °C al cuarto mes de almacenamiento.

Del Juncal (2016), indica que el almidón modificado (fosfatado, succinatado y control Capsul), como material de pared es una opción novedosa y natural que retiene los compuestos fenólicos del día 3 al 15 con pérdidas mínimas en zumo de zapote negro encapsulado. Reportan valores de 693 y 401 mg EAG/100g de muestra seca de 3 a 30 días de almacenadas, respectivamente, en el almidón modificado fosfatado. Encontraron valores máximos de 565 y mínimos de 242 mg EAG/100g (B.S) en microcápsulas de almidón succinatado y los valores más bajos los obtuvieron en el almidón control 485 y 230 mg EAG/100g (B.S), en el mismo período, sin embargo, no se especifican las condiciones de empaque ni almacenamiento del producto.

Zhongxiang y Bhesh (2011), reportaron valores máximos y mínimos de 295 y 277 mg EAG/100 g tejido (B.S), en la encapsulación de polifenoles obtenidos del jugo de arrayán (*Myrtus communis*) utilizando maltodextrinas como material de pared, almacenándolos a 4 °C.



**Gráfica 5.** Resultados estabilidad del contenido de compuestos fenólicos totales del zumo de lima encapsulado, almacenado a diferentes temperaturas.

En otro orden, los flavonoides totales fueron los compuestos bioactivos evaluados que menos variaciones presentaron durante el tiempo de almacenamiento estudiado, siendo estas mínimas los primeros dos meses en los polvos conservados a 25 °C y a temperatura ambiental; sin embargo, los que permanecieron a 30 °C presentaron la mayor disminución al primer mes, manteniendo valores similares los siguientes 3 meses (**Gráfica 6**).

Los encapsulados almacenados a 25 °C mostraron una tendencia lineal desde el primer mes de almacenados, disminuyendo aproximadamente 0,05 mg/g cada mes; mientras que los almacenados a temperatura ambiental, conservaron los mayores valores a partir del tercer mes de almacenamiento.



**Gráfica 6.** Resultados estabilidad del contenido de flavonoides totales del zumo de lima encapsulado, almacenado a diferentes temperaturas.

Socaciu (2008), explica que la estabilidad de las antocianinas (un tipo de flavonoides), depende de varios factores como los sustituyentes químicos que contengan, el pH, la copigmentación, oxígeno, la temperatura, la luz, los iones metálicos, entre otros. Sarma y Sharma (1999), explican que el oxígeno es una de las causas importantes de la destrucción de las antocianinas presentes en jugos, vinos tintos y en los concentrados sólidos o líquidos.

## 4. Conclusiones

Los zumos de lima persa deshidratados por aspersión muestran una tendencia hacia el aumento para el pH y la actividad de agua, con el transcurso del tiempo. La mayor  $a_w$  siempre es observada en los microencapsulados almacenados en condiciones ambientales.

La concentración de carbohidratos, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y flavonoides totales presentes en el zumo de lima atomizado, muestra un comportamiento muy inestable a lo largo de su vida comercial, siendo las pérdidas más acusadas durante el almacenamiento a temperatura ambiente y a 30 °C.

En el contenido de hidratos de carbono, se observa un descenso muy pronunciado en los productos almacenados a 30 °C.

Los zumos de lima atomizados, sólo mantienen de 8,68 a 10,48 % del contenido total inicial de ácido ascórbico al momento de ser almacenados, perteneciendo estos valores a los polvos conservados a temperatura ambiente y a 25 °C, respectivamente. A partir del tercer mes de almacenamiento, los productos pierden más del 50 % de ácido ascórbico inicial, a excepción del conservado a 25 °C.

Los zumos almacenados a 25 y 30 °C muestran un comportamiento idéntico en el período total de almacenamiento y el conservado a temperatura ambiente es igual a los demás durante el primer mes. Los polvos conservados a 25 y 30 °C se mantienen estables durante los primeros 2 meses y una marcada disminución inicia al tercer mes, variando ligeramente al final del tiempo evaluado. El menor valor se presenta en el polvo almacenado a 30 °C, al cuarto mes de almacenamiento.

Los flavonoides totales son los compuestos bioactivos evaluados que muestran mayor estabilidad en el tiempo de almacenamiento. Los encapsulados almacenados a 25 °C muestran una tendencia lineal desde el primer mes de almacenados, disminuyendo aproximadamente 0,05 mg/g cada mes; mientras que los almacenados a temperatura ambiente, conservan los mayores valores a partir del tercer mes de almacenamiento.

## 5. Referencias

1. Alcantara, Y., Alcantara, Y. y Escotto, A. 2015. Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Toronjas (*Citrus paradisi* Macf) sobre Características Bromatológicas del Zumo de Limón (*Citrus latifolia* Tanaka) Encapsulado. Tesis de Maestría. Universidad ISA.
2. Alcantara, Y., Alcantara, Y. y Escotto, A. 2014. Efecto de dos Métodos de Deshidratación y dos Grosos de Lámina de Mesocarpio de Toronja Criolla (*Citrus paradisi* Macf) sobre Características Fisicoquímicas de un Agente Encapsulante. Reporte Profesional de Posgrado. Universidad ISA.
3. Alcantara, Y. y Tejada, J. 2015. Establecimiento de Protocolos para la Conservación de Ácidos Naturales de Cítricos. FONDOCYT, República Dominicana. Informe Final.
4. AOCS. 1990. In: Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society (4th ed.). Champaign: American Oil Chemists' Society.
5. Belitz, H. y Grosch, W. 1999. Vitamins in Food Chemistry, 2nd edn. Pp. 383-387.
6. Caliskan, G. y Dirim, N. 2013. The Effects of the Different Drying Conditions and the Amounts of Maltodextrin Addition During Spray Drying of Sumac Extract. Food and Bioproducts Processing 91:539-548.
7. Del Juncal, D. 2016. Microencapsulación de polifenoles contenidos en jugo de zapote negro (*Diospyros dgyana* jacq.) utilizando almidones modificados de arroz mediante secado por aspersión para su incorporación en un yogur natural.
8. Delgado, A., Velásquez, H. y Molina, D. 2016. Thermal and thermodynamic characterization of a dye powder from liquid turmeric extracts by spray drying. Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 69(1), 7845-7854.
9. Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P. y Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances, Analytical Chemistry, 28(3); 350-356.
10. Fennema, O. 2000. Química de los alimentos (No. 664.07 F335q). 2ª edición. Zaragoza, España: Acribia.
11. Giraldo, G. 1999. Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos. Universidad Nacional De Colombia.
12. Guiguem, H. y Birlouez-Aragon, I. 2005. Effects of sterilization, packaging, and storage on vitamin C degradation, protein denaturation, and glycation in fortified milks. J. Dairy Sci. 88: 891-899.
13. Hung, C. y Yen, G. 2002. Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Isolated from Mesona Procumbens Hemsl. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 50, n. 10, p. 2993 -2997.
14. Liu, M., Li, X., Weber, C., Lee, C., Brown, J. and Liu, R. 2002.

- Antioxidant and Antiproliferative Activities of Raspberries. *J. Agric. Food Chem.* 50:2926-2930.
15. Marqués, L., Ferreira, M. y Freire, J. 2007. Freeze-drying of Acerola (*Malpighia glabra L.*). *Chemical Engineering Process.* 46:451-457.
16. Ministerio de Agricultura de la República Dominicana 2017. Departamento de Seguimiento, Control y Evaluación y Departamento de Cacao. Superficie Cosechada de Cultivos Agrícolas, 2002 - 2016\* (En tareas). Superficie Sembrada de Cultivos Agrícolas, 2002 - 2016\* (En tareas). <http://www.agricultura.gob.do/estadisticas/siembra-cosecha-y-produccion-agropecuaria/>
17. Naddaf, L., Avalo, B. y Oliveros, M. 2012. Secado por aspersión de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia.* 35(1), 20-27.
18. Priestley, R. 1979. Vitamins, in *Effect of heat processing on food stuffs*, ed by Priestley, R. Applied Science Publishers, London, pp. 121-156.
19. Queck, S., Chok, N. y Swedlund, P. 2007. The Physicochemical Properties of Spray Dried Watermelon Powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46 (5): 386-392.
20. Romero Braquehais, F. 2008. Estabilidad de vitaminas, vida comercial y bioaccesibilidad de folatos-hierro en formulas infantiles de continuación y crecimiento. Tesis doctoral. Universidad de Murcia, España.
21. Sarma, A., Sharma, R. 1999. Anthocyanin-DNA copigmentation complex: mutual protection against oxidative damage. *Phytochemistry.* 52, 1313-1318.
22. Socaciu, C. 2008. *Food Colorants Chemical and Functional Properties.* Taylor & Francis Group. New York. USA. pp 583-598.
23. Steaven, R. 1988. Vitamins and minerals, in *Principles of Food Science, Part I*, ed by Fenemma O.R. Marcel Dekker, New York, pp. 365-371
24. Steaven, R., Veron, R., Michael, C. 1985. *Viyamins and Minerals*, in *Food Chemistry*, 2nd edn, pp. 493-499
25. Tonon, R., Brabet, C. y Hubinger, M. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea Mart.*) juice produced with different carrier agents, *Food Res. Int.* 43; 907-914.
26. Vázquez, M. 2007. Fundamentos de la determinación de parámetros cinéticos para microorganismos de interés en tratamiento térmico de alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 1, 1-14.
27. Villacrez, L. 2013. Desarrollo de microencapsulados por spray drying a partir de frutos de mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*) (Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia).

28. Zhongxiang, F. y Bhes, B. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry* 129(3):1139-1147.

**-Capítulo 5**

***Evaluación de inclusiones de zumo de lima (*Citrus latifolia* Tanaka) encapsulado en pulverizado de mesocarpio de pomelos (*Citrus paradisi* Macf) en néctar de lechosa y sus efectos sobre características de calidad***

## 1. Introducción

El néctar de fruta es un producto sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene añadiendo agua con o sin la adición de azúcares, miel y/o jarabes, y/o edulcorantes a productos o a una mezcla de éstos. Podrán añadirse sustancias aromáticas, componentes aromatizantes volátiles y pulpa, todos los cuales deberán proceder del mismo tipo de fruta y obtenerse por procedimientos físicos (CODEX, 2005).

En República Dominicana, el néctar es consumido por grandes y chicos, y se ha convertido en una constante en las loncheras de los niños, en sus primeros años de colegio. En ese sentido, la lechosa (*Carica papaya*), es un fruto de importancia económica, y posee alto contenido de vitaminas, azúcares, ácidos y sales minerales, la cual es empleada en la elaboración de néctar. Guzmán (2014) explica que cuando el zumo obtenido de esta fruta es sometido a tratamientos térmicos, se afecta su calidad. Esto también ocurrirá cuando el néctar de lechosa reciba exposición a tales temperaturas. Una forma de evitar perder esas cualidades o de enriquecer el néctar, es mediante la adición de otros compuestos naturales como el zumo de lima, el cual además de regular el pH del producto, aportará nutrientes.

La definición del CODEX para los néctares es complementada por diversos autores. Rojas *et al.*, (2012), indica que opcionalmente estos contendrán ácido cítrico, estabilizador y conservante. Chacín *et al.*, (2009) argumenta que deben ser libres de materia y sabores extraños, poseer color uniforme y olor semejante al de la respectiva fruta y que, el contenido de azúcares debe variar entre 13 a 18 °Brix. En las Normas Técnicas Peruanas NTP 203.110-2009 se indica un pH entre 3,4 y 4,0 para este producto.

Una de las formas importantes de conservación de alimentos es la regulación del pH, porque éste condiciona la calidad final del producto. Según Barros (2009), un regulador de pH condiciona el sabor de los alimentos y la conservación y eficacia de otros aditivos (conservantes, aromatizantes, gasificantes). A este grupo pertenece el ácido cítrico, el cual se obtiene del jugo de lima o por biosíntesis a partir de melazas y es uno de los aditivos más ampliamente utilizados por sus varias funciones y por ser

totalmente inocuo a las dosis normales. El Codex Alimentarius (2015) establece que la dosis máxima a emplear de este aditivo en néctares de frutas es 5000 mg/kg, equivalentes a 0,5 %.

En ocasiones, los reguladores de pH (como el ácido ascórbico), poseen comportamientos inestables frente a los tratamientos térmicos, por lo que su determinación muchas veces es un factor de calidad (Guzmán, 2014).

En este sentido, se evaluaron diferentes inclusiones de zumo de lima (*Citrus latifolia* Tanaka) encapsulado en pulverizado de mesocarpio de pomelos (*C. paradisi* Macf) en néctar de lechosa y sus efectos sobre características de calidad.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1.- Tipo de Estudio y Diseño Experimental

Esta investigación fue experimental. Para su realización, se evaluó el efecto de la concentración de zumo de lima persa encapsulado en mesocarpio de pomelo (0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 y 0,05 %), sobre el pH, actividad de agua, sólidos solubles, humedad,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y Hue de un néctar de lechosa. Se utilizó un diseño completamente al azar, con un testigo (utilizando 0,03 % de ácido cítrico como acidulante), totalizando 6 tratamientos. Cada experimento, incluyendo al testigo, fue realizado 3 veces.

El modelo estadístico aplicado se presenta a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + \epsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Respuesta esperada

$\mu$  = Media General

$C_i$  = Efecto de la concentración de polvo de zumo de lima ( $i = 0; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04$  y  $0,05$  %)

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental.

## **2.2. - Materias Primas**

Los frutos de *Carica papaya* (lechosa), fueron adquiridos en Santiago de los Caballeros, República Dominicana. Se empleó zumo de lima encapsulado obtenido según la metodología de Alcántara *et al.*, (2015), además de ácido cítrico en el tratamiento testigo, como acidulante. Las demás materias primas pueden ser observadas en la **Tabla 1**, donde se presenta la formulación utilizada.

## **2.3.- Proceso para la elaboración del néctar**

Para la preparación del néctar, los frutos de lechosa (sin defectos físicos), fueron trasladados a la Planta de Procesamiento de Alimentos de la Universidad ISA, donde recibieron un lavado con agua potable y una desinfección con hipoclorito de sodio a 100 ppm. Luego fueron pelados empleando cuchillos de acero inoxidable y se les extrajo las semillas. Se obtuvo la pulpa utilizando un procesador de alimentos Ninja Professional BL780CO-30, a velocidad máxima durante 1 minuto y se filtró en un tamiz Tyler N° 32 Mesh, para retener cualquier posible partícula. Posteriormente, la pulpa fue mezclada con los ingredientes de la formulación (**Tabla 1**), previamente pesados según la concentración de cada tratamiento, a excepción de la goma guar, la cual fue adicionada tras un calentamiento de la mezcla hasta 45°C con agitación constante, con el objetivo de facilitar su disolución. Luego se procedió a pasteurizar a 95 °C durante 3 minutos. Se realizó un enfriamiento hasta 20 °C, colocando el recipiente en un baño con hielo, se envasó la bebida en botellas plásticas que fueron tapadas de inmediato y finalmente se llevó el producto a un cuarto frío donde se almacenó a 4 °C hasta el momento de las respectivas evaluaciones.

## **2.4.- Variables Evaluadas**

### **pH**

Esta determinación se realizó por potenciometría, a una temperatura de 20 °C mediante el uso de un pH-metro Hach Sension<sup>+</sup> Ph1 5050t previamente calibrado con soluciones buffer a pH 2,0; 4,0 y 7,0; se tomaron ~10g de muestra, se diluyeron en 50 ml de agua destilada, se introdujo el electrodo en la solución y se anotó la lectura del instrumento.



### Actividad de Agua (Aw)

Se determinó mediante un medidor Rotronic Hygro-Palm HP23, colocando 1g de néctar en la celda del aparato y esperando a que la lectura se estabilice.

### Sólidos Solubles

Se determinaron utilizando el método refractométrico 11-15 de Hart y Fisher (1971): se realizó lectura directa del néctar, colocando 3 gotas sobre el prisma de un refractómetro ATAGO (con escala de 0-32°Brix), previamente calibrado con agua destilada y se tomó la lectura. Los resultados fueron expresados en grados Brix (contenido en sólidos solubles o sacarosa, existentes en 100 gramos de muestra).

### Humedad

Fue evaluada mediante el método 934.01 de la AOAC internacional descrito a continuación: se pesó 7,5 g de muestra, se colocó en un horno de secado Quincy Lab Modelo-30 a 105 °C por 12 horas. Se dejó enfriar la muestra en un desecador, se pesó nuevamente y se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100$$

### Color

Los parámetros del espacio de color CIELAB  $L^* a^* b^*$ , de las muestras fueron medidos por triplicado utilizando un colorímetro Konica Minolta CR-400, con un diámetro de abertura de la ventana de 8 mm, mediante un iluminante D65 (promedio Luz solar), en placas de petri. La precisión del método se evaluó midiendo 10 determinaciones del plato de calibración MINOLTA (ref. 1849-701 CR-A43). El ángulo de matiz o tono de color ( $\tan^{-1} b^*/ a^*$ ) y el croma o saturación de color  $[(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$ , se calcularon de acuerdo con Villacrez (2013) (**Figura 1**), donde:

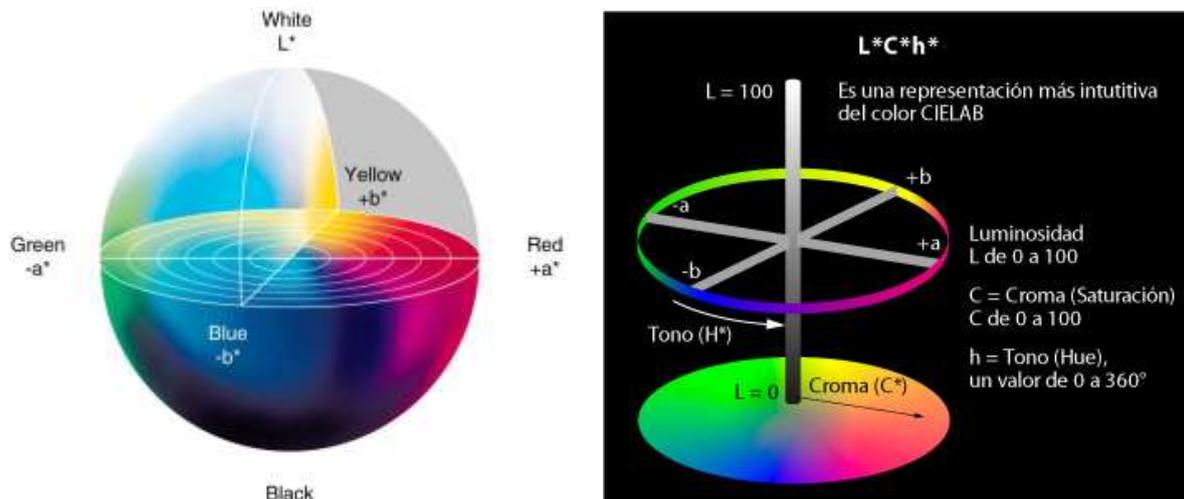
$L^*$ : luminosidad o claridad. Rango de valores de 0 (negro) a 100 (blanco)

$a^*$ : componente del color que varía del tono verde (valores negativos) al rojo (positivos)

$b^*$ : componente del color que varía del tono azul (valores negativos) al amarillo (valores positivos)

Hue: ángulo de matiz o tono de color

C\*: croma o saturación de color



**Figura 1.** Espacio de color tridimensional (coordenadas triestimulares  $L^*$   $a^*$   $b^*$ ).

Fuente: Sharifzadeh *et al.*, (2014), tomado de Burbano (2015).

### 2.5.- Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron evaluados mediante análisis de varianza (one-way ANOVA). Las medias fueron separadas usando la Prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ). Estos análisis fueron realizados usando el Statistix para Windows versión 8.0. Para la representación de los resultados se empleó la media aritmética como medida central  $\pm$  desviación estándar de tres corridas de cada experimento.

## 3. Resultados y Discusiones

### 3.1.- Resultados de las características de calidad del néctar de lechosa

La **Tabla 2** contiene los resultados de las características de calidad del néctar de lechosa elaborado con la inclusión del zumo de lima persa atomizado.

**Tabla 2.-** Características del Néctar elaborado Incluyendo el Zumo de Lima (*Citrus latifolia* Tanaka) Encapsulado en Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos (*Citrus paradisi* Macf)

CARACTERÍSTICAS	Concentraciones De Lima Encapsulado						Ácido Cítrico
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	C 0,03
<b>pH</b>	5,28±0,02 <sup>a</sup>	5,19±0,02 <sup>b</sup>	4,85±0,02 <sup>e</sup>	5,15±0,02 <sup>b</sup>	5,08±0,02 <sup>c</sup>	5,01±0,00 <sup>d</sup>	4,80±0,00 <sup>f</sup>
<b>Actividad de agua</b>	0,929±0,00 <sup>a</sup>	0,929±0,00 <sup>a</sup>	0,923±0,00 <sup>a</sup>	0,922±0,01 <sup>a</sup>	0,924±0,00 <sup>a</sup>	0,924±0,00 <sup>a</sup>	0,926±0,00 <sup>a</sup>
<b>Sólidos Solubles (°Brix)</b>	19,00±0,00 <sup>a</sup>	19,00±0,00 <sup>a</sup>	19,00±0,00 <sup>a</sup>	19,00±0,00 <sup>a</sup>	19,00±0,00 <sup>a</sup>	19,00±0,00 <sup>a</sup>	19,00±0,00 <sup>a</sup>
<b>Humedad (%)</b>	78,28±0,49 <sup>a</sup>	78,13±0,51 <sup>a</sup>	78,71±0,24 <sup>a</sup>	79,48±0,59 <sup>a</sup>	79,36±0,89 <sup>a</sup>	79,62±0,77 <sup>a</sup>	79,21±1,42 <sup>a</sup>
<b>L*</b>	12,82±1,26 <sup>a</sup>	11,91±0,94 <sup>a</sup>	12,58±0,14 <sup>a</sup>	12,51±0,24 <sup>a</sup>	14,32±0,60 <sup>a</sup>	13,22±0,93 <sup>a</sup>	11,95±1,23 <sup>a</sup>
<b>a*</b>	0,60±0,07 <sup>ab</sup>	0,72±0,02 <sup>a</sup>	0,69±0,06 <sup>ab</sup>	0,55±0,04 <sup>ab</sup>	0,53±0,05 <sup>b</sup>	0,51±0,07 <sup>b</sup>	0,54±0,12 <sup>ab</sup>
<b>b*</b>	2,80±0,18 <sup>a</sup>	2,66±0,15 <sup>a</sup>	2,68±0,19 <sup>a</sup>	2,71±0,10 <sup>a</sup>	2,97±0,10 <sup>a</sup>	2,82±0,17 <sup>a</sup>	2,64±0,13 <sup>a</sup>
<b>C*</b>	2,87±0,19 <sup>a</sup>	2,76±0,15 <sup>a</sup>	2,78±0,19 <sup>a</sup>	2,76±0,10 <sup>a</sup>	3,02±0,10 <sup>a</sup>	2,86±0,17 <sup>a</sup>	2,70±0,10 <sup>a</sup>
<b>Hue</b>	77,93±0,86 <sup>ab</sup>	74,79±0,53 <sup>b</sup>	75,62±0,86 <sup>b</sup>	78,50±0,94 <sup>ab</sup>	80,03±0,55 <sup>a</sup>	79,65±1,56 <sup>a</sup>	78,32±2,98 <sup>ab</sup>

Letras iguales en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticas significativas ( $P>0,05$ ) entre las medias de los tratamientos evaluados. Cada barra (/) indica la división de los estudios, es decir, el primer estudio (Temperatura de entrada) corresponde a las letras colocadas antes de la primera barra y así, respectivamente. Los valores colocados después del símbolo  $\pm$  indican desviación estándar. MT y MD: zumos encapsulados en mesocarpio de pomelo y maltodextrina, correspondientemente, en condiciones de trabajo intermedias: 135 °C, 4,21 kg/cm<sup>2</sup>, 0,85 L/h.

Respecto al pH, los resultados de la presente investigación indican que hay diferencia estadística significativa entre las medias de los tratamientos evaluados, correspondiendo el mayor valor (5,28) al testigo absoluto y el menor (4,80) al producto elaborado con ácido cítrico, siendo el néctar con 0,02 % de lima encapsulado el tratamiento con el pH más parecido al control con 0,03 % de ácido cítrico. Estos resultados son mayores a los que indican algunas regulaciones, como las Normas Técnicas Peruanas NTP 203.110-2009 para néctares de frutas, pH entre 3,4 y 4,0. Los valores obtenidos probablemente sean debidos al elevado pH de la pulpa de lechosa: 6,17 y 6,41, en frutas hembras y hermafroditas (Lobo, 1995); 5,03 (Castro *et al.*, 2011); y 4,72 en esta investigación. Además, pudieron deberse a que el contenido total de pulpa del néctar (42,95 - 43,00 %), era de lechosa, a diferencia de otros autores que realizaron formulaciones mezclando con pulpas ácidas como la lima (Chacín *et al.*, 2009), maracuyá (Akira *et al.*, 2004) y naranja (Cabrera, 2013). Otra razón probable, es que el porcentaje de adición de sacarosa fue alto (13,975 %), lo que condujo a la obtención elevadas cantidades de azúcares en el producto final, pudiendo aumentar el pH.

Coincidiendo con los hallazgos de este estudio, Chaizin *et al.*, (2009), encontraron una acidez de 0,313 %, por debajo del mínimo requerido (0,4 %), en formulaciones de néctar lechosa-lima (3:1), e indican que la acidez de la lechosa es muy baja (0,25 %).

Semejantes resultados a los de esta investigación fueron encontrados por Cabrera (2013), quien desarrolló tres formulaciones de una bebida antioxidante natural funcional compuesta por naranja (*Citrus sinensis*), zanahoria (*Daucus carota*), papaya (*Carica papaya*), tomate riñón (*Lycopersicum esculentum*), chuquiragua (*Chuquiragua sinensis*), pepinillo (*Cucumis sativus*) y brócoli (*Brasica oleracea*) y detectó diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto a la variable pH (4,3 a 4,7), e infiere que esta es afectada por el porcentaje de ingredientes y aditivos adicionados.

Contrario a los hallazgos de este estudio, Burbano (2015) no observó diferencia estadística en el pH cuando estudió las propiedades fisicoquímicas y la aceptabilidad de

un néctar de piña (*Ananas comosus* L.), naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) y borojó (*Borojoa patinoi* Cuatrec) pasteurizado de manera abierta y al vacío. Sus valores fluctuaron entre 3,30 a 3,48 y explicó que, al igual que otros investigadores, observó que los valores de pH descienden al momento de pasteurizar las muestras de néctar indistintamente del tratamiento que se haya aplicado (el pH de los jugos desciende después de aplicar el proceso térmico) y que esto se da por la ionización parcial de los ácidos orgánicos presentes en la muestra (Ocampo, 2000, citado por Burbano, 2015).

Akira *et al.*, (2004), reportan pH de 3,22-3,49, estudiando 9 formulaciones de néctares con diferentes concentraciones de pulpa de lechosa, maracuyá y sacarosa, manteniendo constante la pulpa de acerola. La composición trabajada fue de 50 % pulpa y 50 % agua, adicionando a esta base diferentes porcentajes de sacarosa.

En cuanto a la actividad de agua (**Tabla 2**), no se observó diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, manteniéndose los valores entre 0,922 a 0,929. En las literaturas consultadas no se encontraron datos relativos a esta variable para néctares de frutas. Sin embargo, Burca (2015), reportó un rango de  $a_w$  de 0,9726 a 0,9856 en zumos de mandarina (var. Clementina) con 0, 10 y 20 % de trehalosa; indicó que el aumento en la concentración de trehalosa produjo un incremento significativo en el contenido en sólidos solubles totales y un descenso notable en la actividad del agua del zumo. No obstante, la actividad del agua de las muestras resultó superior al valor mínimo de 0,85 por debajo del cual cesan las reacciones de deterioro asociadas a la actividad bacteriana (Rahman, 2010), al igual que en la presente investigación.

Para el contenido de sólidos solubles de los néctares, no se halló diferencia estadística entre los tratamientos, sugiriendo que la concentración de lima encapsulado adicionada no influye sobre esta característica. El contenido de sólidos solubles de la presente investigación (19), es semejante al valor promedio (20,1%) obtenido por Haas *et al.*, (s.f.) en un néctar a base de piñuela (*Bromelia pinguin*).

Contrario a los hallazgos de este estudio, Cabrera (2013) observó diferencia estadística entre todos los datos analizados en relación a los sólidos solubles (comprendidos entre 7,5 y 17°Brix) cuando desarrolló tres formulaciones de una bebida antioxidante natural funcional compuesta por naranja (*Citrus sinensis*),

zanahoria (*Daucus carota*), papaya (*Carica papaya*), tomate riñón (*Lycopersicon esculentum*), chuquiragua (*Chuquiragua sinensis*), pepinillo (*Cucumis sativus*) y brócoli (*Brasica oleracea*), a partir de lo cual afirma que esta variable es afectada por los porcentajes de ingredientes y aditivos adicionados.

Asimismo, Burbano (2015) reportó que los sólidos solubles totales se vieron afectados por los tratamientos, alcanzando 15,73 °Brix al aplicar pasteurización abierta a 75 °C/ 12 min y 12,01 °Brix con la pasteurización al vacío bajo las mismas condiciones de temperatura y tiempo. Expone que esta diferencia se debe a que al realizarse el proceso en un pasteurizador cerrado no existió evaporación o esta fue mínima y por ende los sólidos solubles no se elevaron, mientras que las muestras pasteurizadas en olla abierta tradicional mostraron valores de sólidos solubles mucho mayores; además indica que otros autores también reportan el aumento de sólidos solubles totales posterior a la pasteurización en jugos (Picouet *et al.*, 2015; Sancho *et al.*, 2007; Sugai *et al.*, 2002).

Akira *et al.*, (2004), obtuvieron de 7,9 a 17,12 °Brix en néctares resultantes de 9 formulaciones, con distintas concentraciones de pulpa de lechosa, maracuyá y sacarosa, manteniendo constante la pulpa de acerola y cuya composición fue de 50 % pulpa y 50 % agua, adicionando a esta base diferentes porcentajes de sacarosa. SS.

En relación al contenido de humedad (**Tabla 2**), no se observó diferencia estadística entre los tratamientos, conservándose en un rango de 78,13 a 79,62 %. Valores cercanos (62,19 a 75,26 %) fueron obtenidos por Hass *et al.*, (s.f.) en un néctar a base de piñuela (*Bromelia pinguin*). Díaz (2014) tampoco observó diferencia significativa para la humedad en su estudio comparativo de características nutricionales y fisicoquímicas de algunas bebidas a base de fruta de *Rubus glaucus* Benth, *Passiflora edulis* y *Ananas comosus*. Reportó contenidos de humedad de 93,4602 % y 91,4808 % para néctares de maracuyá natural con 5% de azúcar y de piña natural con 5% de azúcar, respectivamente.

Respecto a los resultados obtenidos de la medición del color a nivel instrumental, solo se observaron diferencias estadísticas en el parámetro a\*, localizándose los valores de todos los productos evaluados en el cuadrante rojo-

amarillo (**Figura 1**). La luminosidad estuvo comprendida entre 11,91 y 14,32;  $a^*$  se mantuvo en el rango de 0,51 a 0,72 (para las concentraciones de 0,05% y 0,01% de lima encapsulado, respectivamente) y el atributo  $b^*$  permaneció entre 2,64 a 2,97 (para el testigo con 0,03% de ácido cítrico y 0,04% de lima encapsulado). En cuanto al  $C^*$  o grado de saturación, no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos, conservándose estos valores en un rango de 2,76 a 3,02. Sin embargo, existió diferencia estadística significativa a nivel del ángulo de matiz o tono, observándose valores entre 74,79 y 80,03 para las concentraciones de lima encapsulado de 0,01 y 0,04% respectivamente.

Por su parte, Cabrera (2013) encontró diferencia estadística significativa entre las tres formulaciones de una bebida antioxidante natural que desarrolló, siendo 1 el valor mínimo, 2 el máximo y 3 el óptimo.

En relación al color, Burbano (2015) observó que las características colorimétricas como Luminosidad  $L^*$ , tono  $H^*$  y croma  $C^*$  disminuyeron significativamente con la pasteurización abierta, ya que la presencia de oxígeno sumada a la aplicación de calor, genera cambios irreversibles sobre los pigmentos de las frutas. Indicó haber observado diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en todos los parámetros analizados y atribuye este comportamiento a la degradación de pigmentos naturales en las frutas (Ronda, 2004), los cuales son susceptibles al calor (los carotenoides pueden sufrir isomerización reduciendo de esta manera su color y cambiando el brillo del néctar original). Argumenta que Guerrero y Núñez (1991) explican que, en el caso de las frutas y vegetales, el color depende de la presencia de cuatro tipos fundamentales de pigmentos: carotenoides, antocianinas, clorofilas y compuestos fenólicos, los cuales pueden cambiar durante el procesado y almacenamiento.

Al igual que en esta investigación, los valores de tono obtenidos por Burbano (2015) no permiten definir una clara relación con los tratamientos evaluados ya que variaron sin describir un patrón definido. De manera similar, distintos autores reportan alteraciones que sufren las propiedades colorimétricas en jugos y purés de frutas

tratadas con calor (Burbano, 2015; Holzwarth *et al.*, 2012; Novillo, 2009; Ochoa *et al.*, 2012; Osorio, 2008; Wang *et al.*, 2015).

#### **4. Conclusión**

De las variables de respuesta evaluadas en el néctar de lechosa (pH, actividad de agua, sólidos solubles, humedad y color: L\*, a\*, b\*, C\* y Hue), la inclusión de zumo de lima atomizado ejerce influencia sobre el pH, a\* y Hue o tonalidad.

Respecto a la medición del color a nivel instrumental, la inclusión de zumo de lima atomizado en néctar de lechosa, solo presenta diferencias estadísticas en el parámetro a\*, localizándose los valores de todos los productos evaluados en el cuadrante rojo-amarillo.

## Referencias

1. Akira, F., Da Silveira, M., Cardoso, R. y Ferreira, D. 2004. Sensory acceptance of mixed nectar of papaya, passion fruit and acerola. *Sci. Agric.* 61(6): 1-9.
2. Alcantara, Y., Alcantara, Y. y Escotto, A. 2015. Efecto de Diferentes Concentraciones de Pulverizado de Mesocarpio de Toronjas (*Citrus paradisi* Macf) Sobre Características Bromatológicas del Zumo de Limón (*Citrus latifolia* Tanaka) Encap-sulado. Tesis de Maestría. Universidad ISA.
3. Barros, C. 2009. Los aditivos en la alimentación de los españoles y la legislación que regula su autorización y uso. Editorial Visión Libros.
4. Burbano, J. 2015. Influencia de la pasteurización abierta y al vacío en las propiedades fisicoquímicas y la aceptabilidad de un néctar de piña (*Ananas comosus* L.), naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) y borjón (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) Tesis.
5. Burca, C. 2015. Valoración del efecto probiótico "in vitro" de *Lactobacillus salivarius* en zumos con trehalosa y tratados con altas presiones de homogenización. Universidad Politécnica de Valencia.
6. Cabrera, R. 2013. Proyecto de industrialización y formulación de una bebida antioxidante Natural compuesta por naranja (*Citrus sinensis*), zanahoria (*Daucus carota*), Papaya (*Carica papaya*), tomate riñón (*Lycopersicum esculentum*), chuquiragua (*Chuquiragua sinensis*) pepinillo (*Cucumis sativus*) y brócoli (*Brassica oleracea*). Tesis, Quito: Universidad de las Américas.
7. Chacín, A., Bonafine, O., Laverde, D., Rodríguez, R. y Méndez-Natera, J. R. 2009. Caracterización química y organoléptica de néctares a base de frutas de lechosa, mango, parchita y lima. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(1), 74-79.
8. Castro, A., Pimentel, J., Souza, D., De Oliveira, T. y Oliveira, M. 2011. Study of preservation of papaya (*Carica papaya* L.) associated with the application of edible films. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(1), 49-60.
9. CODEX. 2005. Norma General del CODEX para Zumos (Jugos) y Néctares de Frutas (Codex Stan 247-2005). <https://www.google.com.do/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=definici%C3%B3n+de+zumo>
10. Codex Alimentarius. 2015. Norma general para los aditivos alimentarios. Codex Stan, 192-1995. Revisión 2015.
11. Guerreiro, L. y Núñez, M. 1991. El proceso de secado en los alimentos. *Alimentación, equipos y tecnología*, 10 (10), 111-117.
12. Guzmán, J. 2014. Evaluación de la cinética de degradación térmica de vitamina C en el jugo de papaya (*Carica papaya* L.) y maracuyá (*Passiflora edulis*). Tesis de grado. Universidad Nacional de San Cristóbal Dehuamanga, Perú.

13. Haas, L., Moo, M., Martín, C., Uicab, L. y Canul, D. (s. f.). Caracterización fisicoquímica y organoléptica del néctar a base de piñuela (*Bromelia pinguin*).
14. Hart, F. y Fisher, H. 1971. Análisis Moderno de los Alimentos. Editorial Acribia. I.S.B.N.:84-200-0297-6.
15. Holzwarth, M., Korhummel, S., Kammerer, D. y Carle, R. 2012. Thermal inactivation of strawberry polyphenoloxidase and its impact on anthocyanin and color retention in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) purés. *European Food Research and Technology*, 235(6), 1171-1180.
16. Lobo, M. 1995. Caracterización bioquímica de frutos de papaya (*Carica papaya*, cv Sunrise), hembra y hermafrodita, en relación con su aptitud al procesado por congelación. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
17. Novillo, M. y Geovanna, C. 2009. Desarrollo y evaluación física, química y sensorial de jugo de dos variedades de carambola (*Averrhoa carambola*) (Tesis de grado, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana).
18. NTP 203.110:2009, Norma Técnica Peruana Jugos, Néctares y Bebidas de Fruta, Lima - Perú.
19. Ocampo, O. 2000. Elaboración y conservación de néctares a partir del lulo variedad "La Selva" (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales).
20. Ochoa, C., García, V., Luna, J., Luna, M., Hernández, P. y Guerrero, J. 2012. Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus spp*). *Scientia Agropecuaria*, 3(4), 279-289.
21. Osorio, O. 2008. Influencia de tratamientos térmicos en la calidad y estabilidad del puré de fresa (*Fragaria x ananassa*, cv Camarosa). (Tesis doctoral), Universidad Politécnica de Valencia, España.
22. Picouet, P., Sárraga, C., Cofán, S., Belletti, N. y Guàrdia, M. 2015. Effects of thermal and high-pressure treatments on the carotene content, microbiological safety and sensory properties of acidified and of non-acidified carrot juice. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 920-926.
23. Rahman, M. 2010. Food stability determination by macro-micro region concept in the state diagram and by defining a critical temperature. *Journal of Food Engineering* 99, 402-416.
24. Rojas, J., Gordillo, C., Guerrero, N., Izáziga, N., Laguna, B. y Lázaro, M. 2012. Efecto de la proporción de naranja (*Citrus sinensis*), papaya (*Carica papaya*) y piña (*Ananas comosus*) en la aceptabilidad sensorial de un néctar mixto. *Agroindustrial Science*, 2(2), 132-138.
25. Ronda, F. 2004. Química del color de los alimentos - Universidad de Valladolid - Tecnología de Alimentos

- 
26. Sancho, S., Maia, G., Figueiredo, R., Rodrigues, S. y De Sousa, P. 2007. Alterações químicas e físico-químicas no processamento de suco de caju (*Anacardium occidentale* L.) *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(4), 878-882.
  27. Sharifzadeh, S., Clemmensen, L., Borggaard, C., Støier, S. y Ersbøll, B. 2014. Supervised feature selection for linear and non-linear regression of L\* a\* b\* color from multispectral images of meat. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 27, 211-227.
  28. Sugai, A., Shigeoka, D., Badolato, G. y Tadini, C. 2002. Análise físico-química e microbiológica do suco de laranja minimamente processado armazenado em lata de alumínio. *Ciênc Tecnol Aliment*, 22(3), 233-8.
  29. Villacrez, L. 2013. Desarrollo de microencapsulados por spray drying a partir de frutos de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia.
  30. Wang, Z., Zhang, M. y Wu, Q. 2015. Effect of temperature, pH, and sunlight exposure on the color stability of strawberry juice during processing and storage. *LWT - Food Science and Technology*, 60, 1174-1178.

## 5. CONCLUSIONES GENERALES

El grosor de la lámina de mesocarpo (2 y 4 mm) sólo tiene efecto sobre el porcentaje de rendimiento, porcentaje de deshidratación y la viscosidad del agente encapsulante obtenido de mesocarpo de pomelo. Mientras que los métodos de deshidratación (horno de bandejas y microondas) y la interacción del grosor del mesocarpo con el método de deshidratación afectan al pH, viscosidad, densidad aparente, temperatura de gelatinización, índice absorción de agua y poder de hinchamiento del ayudante de secado de esta investigación.

Las concentraciones de agentes encapsulantes (0,4; 0,8; 1,2; 1,6 y 2,0) afectan significativamente las características fisicoquímicas, componentes bioactivos y propiedades nutricionales evaluadas (a excepción de las proteínas) en los zumos de lima persa pulverizados, siendo la actividad de agua y el contenido de cenizas inversamente proporcionales a la concentración de encapsulante. De acuerdo a los panelistas, todos los tratamientos poseen sabor, color y olor diferentes. La cantidad de encapsulante adicionada no modificó la temperatura de transición vítrea de los zumos pulverizados, pero sí ocasionó variación en los tamaños y formas de las partículas de polvo obtenidas. De las dosis evaluadas, se determina como mejor el tratamiento con 1,2 % de pulverizado de mesocarpo de pomelo como encapsulante, el cual además alcanzó el mayor rendimiento (46,76%).

El caudal de atomización afecta a todas las variables de respuesta evaluadas en los zumos de lima persa microencapsulados (rendimiento, pH, actividad de agua, sólidos solubles, humedad, proteínas, cenizas, hidratos de carbono, ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y temperatura de transición vítrea); sin embargo, la temperatura de entrada no influye sobre el porcentaje de humedad, contenido de sólidos solubles ni cenizas, mientras que el caudal de alimentación tampoco afecta los sólidos solubles, proteínas, cenizas ni Tg. Los polvos obtenidos mostraron formas y estructuras variadas e irregulares, presentando las formas esféricas mejor definidas en los atomizados a temperaturas de entrada de 135 °C y 145 °C, caudales de atomización de 4,00 kg/cm<sup>2</sup> y 4,21 kg/cm<sup>2</sup> y caudales de alimentación de 0,85 L/h y 0,90 L/h. Los panelistas encontraron diferencias en el sabor, color y olor

---

de los zumos de lima encapsulados y rehidratados, respecto al zumo de lima fresco (recién exprimido).

El pH y la actividad de agua de los zumos de lima persa deshidratados por aspersion tienden a aumentar con el transcurso del tiempo, observándose la mayor aw en los microencapsulados almacenados en condiciones ambientales. La concentración de carbohidratos, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y flavonoides totales presentes en el zumo de lima atomizado, muestra un comportamiento muy inestable a lo largo de su vida comercial, siendo las pérdidas más acusadas durante el almacenamiento a temperatura ambiente y a 30 °C. El contenido de hidratos de carbono disminuyó notablemente en los productos almacenados a 30 °C, mientras que, en cuanto al ácido ascórbico, se observó que a partir del tercer mes de almacenamiento, los productos pierden más del 50 % del contenido inicial, a excepción del conservado a 25 °C. Los flavonoides totales son los compuestos bioactivos evaluados que muestran mayor estabilidad en el tiempo de almacenamiento.

La inclusión de distintas concentraciones de zumo de lima atomizado ejerce influencia sobre el pH, a\* y Hue o tonalidad de los néctares de lechosa. Los valores del parámetro a\* de estos productos los ubican en el cuadrante rojo-amarillo.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Esta tesis implicó para mí un esfuerzo indescriptible. El camino recorrido estuvo lleno de retos y pruebas, mismos que al final son los que hacen valorar el sacrificio realizado. Sin embargo, gracias a la determinación que presenté y al apoyo recibido, pude llegar a ver esta meta superada. Por eso quiero reconocer a todos aquellos que estuvieron conmigo en esta travesía:

Dios, el Divino Niño Jesús y la Virgen, por concederme paciencia, fe, cordura y sabiduría para superar exitosamente este desafío y por permitir que mis familiares más cercanos tuvieran el amor suficiente para soportar mis malos humores y tiempos de incertidumbre.

Mi hermana Yulisa, mi esposo José, mi estimado cuñado Modesto y mis padres, por proporcionarme su apoyo invaluable e incondicional todo el tiempo y por servir de sustitutos durante mi ausencia. También agradezco de manera muy especial a mis hermanos Manuela y Enércido y a mis hijos: Allan, José, Juan, Yulisa, Ariel, Estiven, Camila y Adam. A todos ustedes, gracias además por sus oraciones.

Mi tutor y asesor de tesis doctoral, Dr. Gaspar Ros, por sus orientaciones, guía y apoyo para finalizar exitosamente este trabajo y por seguir en pie de lucha y animoso a pesar de todas las adversidades que enfrentó durante este proceso.

Mis amigos: Hansel Mercedes, Andrea Escotto, Neferty García, Melina Tavarez y Adolfo Alcalá, por sus valiosos aportes para la grata culminación de este proyecto.

Los miembros de la Universidad ISA que me apoyaron en el proceso (Dr. Marcos Tavárez, Dr. Domingo Carrasco, Lic. Linny Sosa, Dr. Rafael Amable Vásquez, Dr. Marquis Adames, Dr. Edwin Reyes, Ing. Benito Ferreiras, Ing. Angel Castillo, Lic. Amarelys Santana, Ing. Edward Delgado, Ing. Bernarda Félix, Raudys, Ing. Bernarda Reynoso, Dra. María Elisa Peña, Ing. Gregorio Lómbert, Ing. Sahira Vásquez, Ing. Lucibel Álvarez, Ing. Ana Bretón, Carmen Maldonado, entre otros).

Los miembros de la Universidad Internacional de la Florida, por su gentileza y el apoyo brindado para los análisis de microscopía electrónica de barrido, muy especialmente, a los Doctores Thomas H. Beasley, Michael Cheng e Imran Ahmad.

Los organizadores del programa Cochran en República Dominicana, Señores Virgilio Mayol y Mayra Carvajal.

Los miembros del Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica de la Universidad Politécnica de Cartagena, Dr. Luis Alberto Alcolea Rubio y Dra. María José Roca Hernández, por su amabilidad y el soporte brindado para los análisis de microscopía electrónica de barrido y de transición vítrea.

Finalmente, quiero agradecer a los amigos que pude hacer en el recorrer de este camino: Dr. Jorge Ruiz, Liset García, Doctoranda Laura Elvira, Dra. Alba Durango, Doctoranda Natal y Dr. Aliyar Fouladkhah, por todo lo que hicieron por mí, socorrerme cuando los necesité y brindarme su apoyo desinteresado.

## 7. PUBLICACIONES ORIGINALES

1. Effect of Different Concentrations of Pulverized Mesocarp of *Citrus paradisi* Macf on the Morphology and Glass Transition Temperature of Spray-dried Lemon Juice Powder. Food Science & Nutrition. DOI: 10.1002/fsn3.678 (*Manuscrito aceptado*). (Anexo II).
2. Effect of Different Concentrations of Pulverized Mesocarp of *Citrus paradisi* Macf on the Bromatological Characteristics of Spray-dried Lemon Juice Powder. Food Science & Nutrition. DOI: 10.1002/fsn3.679 (*Manuscrito aceptado*). (Anexo III).

## 8. COMUNICACIONES A CONGRESOS

1. Y. Alcantara, G. Ros. (2017). Caracterización del Zumo de Limón (*Citrus latifolia Tanaka*) Encapsulado a Diferentes Temperaturas de Entrada, Presiones de Aire de Atomización y Caudales de Alimentación. III Jornadas Doctorales de la Universidad De Murcia, organizada por la Escuela Internacional de Doctorado. (Anexo IV).
2. Yanilka Yulisa Alcantara Marte, Yulisa Yanilka Alcantara Marte, Andrea Erasmilda Escotto Tejada, Gaspar Francisco Ros Berruezo. (2015). Efecto del Pulverizado de Mesocarpio de Toronjas (*Citrus Paradisi* Macf) sobre Características Físicoquímicas y Rendimiento del Zumo de Limón Encapsulado. XVII Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición SLAN 2015. (Anexo V).

## 9. ANEXOS

### Anexo I BOLETA UTILIZADA PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL

**Evaluación Sensorial Zumo de Lima (*Citrus latifolia* Tanaka) Encapsulado en  
Pulverizado de Mesocarpio de Pomelos (*Citrus paradisi* Macf)  
Prueba de Comparación Pareada (de dos colas)**

Nombre \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Pruebe las muestras recibidas y diga si son iguales o diferentes en cuanto olor, color y sabor, indicándolo con una X en el lugar que corresponda. Por favor, enjuáguese la boca entre una degustación y otra.

Muestras		Color		Olor		Sabor	
		Diferentes	Iguals	Diferentes	Iguals	Diferentes	Iguals
381	752						
493	465						
257	394						
164	297						
972	647						
835	229						
648	389						
746	583						
534	661						
379	872						
116	546						
283	951						
334	105						
823	908						
265	770						

**Comentarios:**

---



---



---



---

## II



Food Science & Nutrition 

Effect of Different Concentrations of Pulverized Mesocarp of *Citrus paradisi* Macf on the Morphology and Glass Transition Temperature of Spray-dried Lemon Juice Powder

DOI:10.1002/fsn3.678

**Publication status**

Article accepted on 13 April, 2018

---

Received: 19 March 2018 | Revised: 12 April 2018 | Accepted: 14 April 2018

DOI: 10.1002/fsn3.678

## ORIGINAL RESEARCH

WILEY Food Science &amp; Nutrition

# Effect of different concentrations of pulverized mesocarp of *Citrus paradisi* Macf on the morphology and glass transition temperature of spray-dried lemon juice powder

Yanilka Alcantara Marte<sup>1,2</sup>  | Gaspar Ros Berruezo<sup>1</sup> | Yulisa Alcantara Marte<sup>2</sup> | Andrea Escotto Tejada<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Veterinary Sciences, Department of Food Science and Nutrition, Regional Campus of International Excellence "Campus Mare Nostrum", University of Murcia, Espinardo, Spain

<sup>2</sup>Faculty of Agrifood Science and Environment, Food Technology Department, Universidad ISA, Santiago de Los Caballeros, Dominican Republic

**Correspondence**

Yanilka Alcantara Marte and Gaspar Ros Berruezo, Faculty of Veterinary Sciences, Department of Food Science and Nutrition, Regional Campus of International Excellence "Campus Mare Nostrum", University of Murcia, Espinardo, Spain.  
Emails: yalcantara@isa.edu.do; yanilkayulisa.alcantara2@um.es; gros@um.es

**Funding information**

Universidad de Murcia., Universidad ISA, Florida International University and FONDOCYT of Dominican Republic

**Abstract**

The aim of this research was to evaluate the effect of different concentrations of pulverized mesocarp of *Citrus paradisi* Macf as a drying aid, on morphology, particle size and glass transition temperature of spray-dried lemon juice powder. Five concentrations of grapefruit mesocarp (0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% (w/w)) and maltodextrin DE 10 (1.2%, w/w) were evaluated as encapsulant agents. The obtained data were evaluated by one-way ANOVA using Statistix version 8.0. For the means separation, the Tukey's test was applied with a 95% reliability. The morphology of the particles was described. According to the results, by applying different levels of coating agent in lemon juices, powder particles with different sizes (from 3.07 to 6.20  $\mu\text{m}$ ) and shapes (spherical, irregular and shrunken or reduced) are obtained; however, their glass transition temperature is not modified, finding values between 37.43 and 38.64°C.

**KEYWORDS**

*Citrus paradisi*, glass transition temperature, lemon powder, morphology, spray drying

## 1 | INTRODUCTION

There are no coating materials with perfect encapsulation properties for the retention of volatiles compounds, protection against oxidation or with good emulsifying properties. However, the solubility, hydrophobicity, permeability and other properties of the material used as coating agent have a predominant influence on the final product's characteristics (Lozano, 2009).

According to Arellano (2011), there is a wide variety of coating agents. Beristain (1996) indicates that each of these materials has its limitations; for instance, chemically modified starches have excellent retention of volatiles compounds during drying, but poor protection against oxidation. On the other hand, partially hydrolyzed starches (maltodextrins, glucose solids sirup and others), protect against oxidation but lack

emulsifying properties. Gum arabic has excellent emulsifying properties and good retention of volatiles; however, it provides limited protection against oxidation of the encapsulated substance, and in recent years, its high cost and scarcity have limited its use.

The limited availability of materials used as encapsulating agents and the fact that they have a high cost evidences the need to identify unconventional sources of biomolecules or the like, with functional characteristics similar to those existing. This, along with the nonutilization of by-products generated in the industrial processing of citrus fruits, led to the development of Alcantara and Escotto's (2014) study, in which an encapsulating agent was obtained from the grapefruit mesocarp.

As a follow-up to the aforementioned study, the present investigation proposes the evaluation of different concentrations

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2018 The Authors. Food Science & Nutrition published by Wiley Periodicals, Inc.

of the encapsulating agent (obtained from the grapefruit mesocarp by Alcantara & Escotto, 2014) which are evaluated in the spray drying of the Persian lemon juice. This is proposed as an alternative to the existing encapsulants in the market, so as to take advantage of a by-product generated in the industrial processing of grapefruit, add value, and enable the industrialization and commercialization of a more durable alternative product and that conserves to the maximum the properties of the encapsulated juice.

Citrus fruits are seasonal; therefore, prices usually fall at the peak of production. For producers, this represents significant losses as the prices do not compensate the production costs. The short shelf life of these species causes losses and can negatively influence trade and consumer confidence (Alcantara & Tejada, 2012). For instance, in a given period, lemons disappear from the market or reach prices so high that most consumers cannot afford. The same happens with other tropical fruits, such as avocado, mango, pineapple, and others. An alternative to mitigate the inconveniences faced by lemon producers and consumers is processing the fruits during the high-production season. Dehydration of Persian lemon juice was performed due to its nutritional characteristics, short shelf life, and variability in the behavior of prices, given the seasonality of its production.

Among drying technologies, spray drying is often selected for its ability to process food materials quickly and the relative control of the particle size distribution it provides (Patil, Chauhan, & Singh, 2014). Drying and storage of powdered fruit juices faces technical difficulties due to its characteristic associated with the compositions. The glass transition temperature ( $T_g$ ) is one of the important properties (Hashib, Rahman, Suzihaque, Kalthum, & Ibrahim, 2015).

The aim of this research was to evaluate the effect of different concentrations of mesocarp pulverized of *Citrus paradisi* Macf as a drying aid, on morphology, particle size, and  $T_g$  of spray-dried lemon juice powder.

## 2 | MATERIALS AND METHODS

### 2.1 | Raw materials

The fruits of *Citrus latifolia* Tanaka were acquired in Santiago de los Caballeros, Dominican Republic and were used to obtain the drying aid, according to Alcantara and Escotto's (2014) methodology. Maltodextrin DE 10 was used for the encapsulation of the control treatment.

### 2.2 | Experimental design

For this study, a completely randomized design was used to evaluate the effect of five concentrations of encapsulant from *C. paradisi* (0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%, and 2.0%), on morphology, particle size, and  $T_g$  of the encapsulated lemon juice. Additionally, 1.2% maltodextrin 10 DE was used as a control. In total, there were six treatments with three replicates, resulting in 18 experimental units.

### 2.3 | Process for the lemon (*C. latifolia* Tanaka) juices encapsulation

The fruits of *C. latifolia* Tanaka were received in the Food Processing Plant of ISA University and then weighed and selected according to color, size, and appearance (without physical defects). After selection, they were treated with a sodium hypochlorite solution at 100 ppm and allowed to drain for 10 min. Then, they were weighed again and split into two halves. The juice was extracted using manual juicers and filtered using a No. 32 mesh Tyler sieve.

The treatments were prepared by adding 0.5% of tricalcium phosphate as an antiadherent (to avoid stickiness and decrease the encapsulated product's hygroscopicity), and the concentration corresponded to the encapsulating agent ( $i$  = 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6%, and 2.0% pulverized grapefruit mesocarp; 1.2% maltodextrin DE 10). The percentages were established based on the lemon juice. It was mixed in an Osterizer 4655 electric mixer at full speed for a minute, filtered through a No. 32 Mesh Tyler sieve, to retain any possible particles and avoid obstructions in the atomization needle, and then dried in the Spray Dehydrator YC-015 SD.

The drying conditions were kept constant: inlet air temperature 130°C, spray air pressure of 3.4 bar, air blower: 4 kg/cm<sup>2</sup>, feed rate: 0.9 L/hr, outlet air temperature 75°C. The particle size was 0.7 mm.

The obtained powder was immediately packed and vacuum sealed in bags. It was stored at 25°C until evaluation.

### 2.4 | Evaluated variables

#### 2.4.1 | Glass transition temperature ( $T_g$ )

This measurement was made using a DSC 822e Mettler-Toledo (Barcelona, Spain), equipped with cooling accessories with liquid nitrogen. 10 mg of encapsulated lemon juice powder was weighed in a standard 40  $\mu$ l aluminum melting pot (ME-51119870; Mettler-Toledo), closed with a standard aluminum cap (ME-51119871; Mettler-Toledo) and hermetically sealed. The analysis was carried out directly without thermal history erasure, with a sweep from -20 to 120°C, with a heating rate of 10°C/min. The midpoint of the glass transition was considered as the characteristic temperature of the transition.

#### 2.4.2 | Particles size

For this determination, samples were fixed to the sample holder with double-sided carbon tape (Ted Pella Inc.) and metallized with platinum in a Polaron coater (model SC7640 Quorum Technologies) for 120 s at 15 mA. A scanning electron microscope (SEM) Hitachi S-3500N (Hitachi High-Technologies Corporation, Tokyo, Japan) at 15 kV acceleration voltage was used to observed samples. A working distance between 7 and 8 mm was applied and under high vacuum conditions. The signal with which the image was generated was secondary electrons (SE Secondary Electron). For the acquisition of the images, the Esprit Quantax 400 program (Bruker

Nano GmbH, Berlin, Germany) was used and the Quartz PCI version 5.1 of the Quartz Imaging Corporation were used, both for acquisition and for taking measurements.

### 2.4.3 | Morphology of particles

To analyze the morphological characteristics of the microcapsules and the possible aggregation of the particles of dried Persian lemon juice by spray, the scanning electron microscopy (SEM) technique was applied, using the JEOL JSM 5900LV equipment, according to the methodology described by Lozano (2009).

The powder samples obtained from each treatment were fixed to a double-sided adhesive tape placed in a sample holder or canyon. A small sample spatula tip was applied, fixing it to the tape by means of a small pressure. Later, they were metallized with gold for 240 s, using an SPI Module for cathodic sputter coating. This was performed with the aim that the small dust grains were more stable and did not move when the microscope lens was near them to visualize them, increase the conductivity of the samples and obtain images with good resolution. The lens was placed 7 mm away. All the images were taken looking for a representative field of the sample that was as flat as possible, operating at 5 kV and using a magnification of 1,000 $\times$ .

### 2.5 | Statistical analysis

The obtained data were evaluated by one-way ANOVA. Means were separated using Tukey's test ( $p < 0.05$ ). These analyses were performed using Statistix version 8.0. For the representation of the results, the arithmetic mean was used as the central measure  $\pm$  SD of three replicates.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 | The effect of different concentrations of pulverized mesocarp of *C. paradisi* Macf on Tg of spray-dried lemon juice

In Table 1, it is observed that the amount of encapsulant used in juices had no effect on the Tg. Probably because the differences,

in quantities of drying aids added, were minimal. Similarly, Fang and Bhandari (2012) found no effect on Tg of encapsulated bayberry juice powders using 0.5%, 1.0%, 2.5%, 5.0%, 7.5% and 10% of whey protein isolate.

This study's results are different from those found by Hashib et al. (2015), where the concentration of drying aids (15%, 20% and 25% maltodextrin DE-5) had effects on Tg of pineapple powder. Higher relationship between maltodextrin and pineapple juice conduce to raise the Tg of encapsulated product (an increase in maltodextrin concentration from 15% to 20% raised the Tg of pineapple powder from 149.24 at 152.90°C). These authors explain that maltodextrin's effect on the increase in the Tg of juice is due to its high molecular weight, which increases the juice temperature (Jittanit, Niti-Att, & Techanuntachai, 2010; Tonon, Brabet, Pallet, Brat, & Hubinger, 2009). Additionally, Goula and Adamopoulos (2010), dried orange juice by spray, using concentrations of maltodextrin DE-6 of 2.5%, 5%, 10% and 40%, obtaining an increase in the Tg of 33, 53, 78 and 123°C, respectively. Hashib et al. (2015) clarify that it should be taken into account that DE-6 has a lower molecular weight compared to DE-5, resulting in a lower Tg.

In the present research, both the start of vitreous transition (Onset) and the midpoint of Tg (Midpoint) were lower for the juice encapsulated in maltodextrin DE-10. Figure 1 displays that all treatments showed the same behavior.

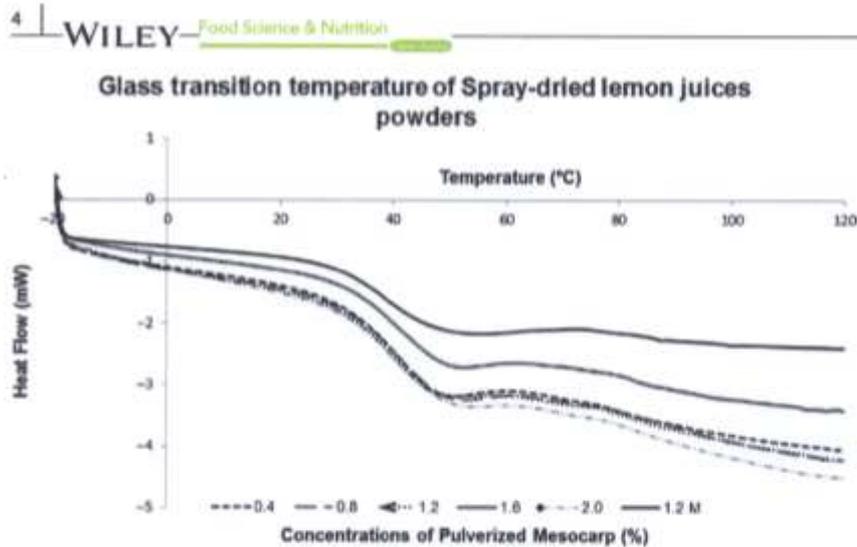
According to Bhandari, Datta, Crooks, Howes, and Rigby (1997), Tg of glucose is 31°C. In relation to this study's results, the main sugar contained in the encapsulations is glucose, as it is freshly squeezed juice, without the addition of sweeteners or sugars. Lozano (2009) explains that lower values of Tg usually correspond to saccharides of low degree of polymerization. According to Mani, Jaya, and Das (2002), the presence of sugar (sucrose, fructose and glucose) in fruit juice results in a low Tg, the temperature at which an amorphous solid begins to change from vitreous state to a gummy state. In this way, the tackiness of powders can be related to their Tg. In order to reduce stickiness, the Tg of the powdered juice can be manipulated by the addition of carrier agents such as maltodextrin, a high-molecular-weight powdery substance (Chegini & Ghobadian, 2007).

Fang and Bhandari (2012) stated that Tg of spray-dried powders is a very important indicator to assess whether a drop/

**TABLE 1** Vitreous transition temperatures and particle diameters of encapsulated lemon juice powders

Encapsulant concentration (%)	Start of vitreous transition (Onset) (°C)	Midpoint of glass transition temperature (Tg) (°C)	Particles' size ( $\mu$ m)
0.4	31.10 <sup>a</sup> $\pm$ 0.83	37.56 <sup>a</sup> $\pm$ 0.47	5.51 $\pm$ 0.54 <sup>b</sup>
0.8	31.02 <sup>a</sup> $\pm$ 2.26	38.11 <sup>a</sup> $\pm$ 2.04	6.20 $\pm$ 0.50 <sup>a</sup>
1.2	31.06 <sup>a</sup> $\pm$ 1.71	37.55 <sup>a</sup> $\pm$ 0.29	3.07 $\pm$ 0.52 <sup>c</sup>
1.6	31.81 <sup>a</sup> $\pm$ 3.68	38.47 <sup>a</sup> $\pm$ 2.41	6.08 $\pm$ 0.72 <sup>ab</sup>
2.0	31.03 <sup>a</sup> $\pm$ 0.68	38.64 <sup>a</sup> $\pm$ 0.55	5.61 $\pm$ 0.44 <sup>ab</sup>
1.2 Maltodextrin	30.38 <sup>b</sup> $\pm$ 4.23	37.43 <sup>a</sup> $\pm$ 3.70	5.75 $\pm$ 0.17 <sup>ab</sup>

Different letters between rows indicate significant statistical differences ( $p < 0.05$ ) between the means of the treatments evaluated. The data analyzed are expressed as means  $\pm$  SD ( $n = 3$  for glass transition and  $n = 10$  for particle diameters). MD: maltodextrin 10 DE.



**FIGURE 1** Vitreous transition temperature of atomized lemon juice powders using different percentages of grapefruit mesocarp as encapsulant and the control (with maltodextrin).

particle is likely to stick to the spray dryer wall. The practical rule of Bhandari et al. (1997) indicates that generally stickiness occurs if the temperature of the drop/particle is 20°C above its T<sub>g</sub>. According to the rule's analysis, when adding the 20°C to the T<sub>g</sub> of encapsulated lemon juice powders (37.43–38.64°C), its sticky temperature should be higher than 57.43 to 58.64°C. These values are higher than a particle's typical surface temperature during drying by spray (40–50°C, according to Masters, 1991). This fact indicates that the recovery of dust must be high. Fang and Bhandari (2012) managed to reach those values by adding amounts greater than or equal to 30% maltodextrin DE-10 and reported a dust recovery of more than 50%; however, this study's T<sub>g</sub> values are higher than those found by Fang and Bhandari (2012), in powders of bayberry juice encapsulated in 0.5%–10% of whey protein isolate (14.12–15.34°C) and similar to those found by the same authors in bayberry juice powders encapsulated in 50% maltodextrin DE-10 (37–38°C).

### 3.2 | The effect of different concentrations of encapsulant retrieved from *C. paradisi* Macf mesocarp on particles' size of spray-dried lemon juice

Table 1 shows that the amount of encapsulating agent used in the lemon juice influenced the particles' diameter of the resulting powders; however, there was no linear behavior. This could be because of the size of particles undergoing changes during spray drying, related to moisture content (Ray, Raychaudhuri, & Chakraborty, 2016) and the high concentration of solids in the solution (Bimbenet, Bonazzi, & Dumoulin, 2002).

This study's results are different from those found by Hashib et al. (2015), where the particle size of pineapple dusts decreased with the increase in encapsulant content (15%, 20% and 25% maltodextrin DE-5).

Villacrez (2013) found that the particle size depends directly on the encapsulating agent and the way it interacts with the active material and not of the internal diameter of the spray nozzle used for the drying process.

In Table 1, it can be seen that the range obtained for the diameter of the particles of the lemon juice powders was  $3.07 \pm 0.52$  to  $6.20 \pm 0.50 \mu\text{m}$ , being within the values considered for spray-dried products: 3–100  $\mu\text{m}$ , according to Ray et al. (2016) and less than 40  $\mu\text{m}$ , according to Zuidam and Heinrich (2010).

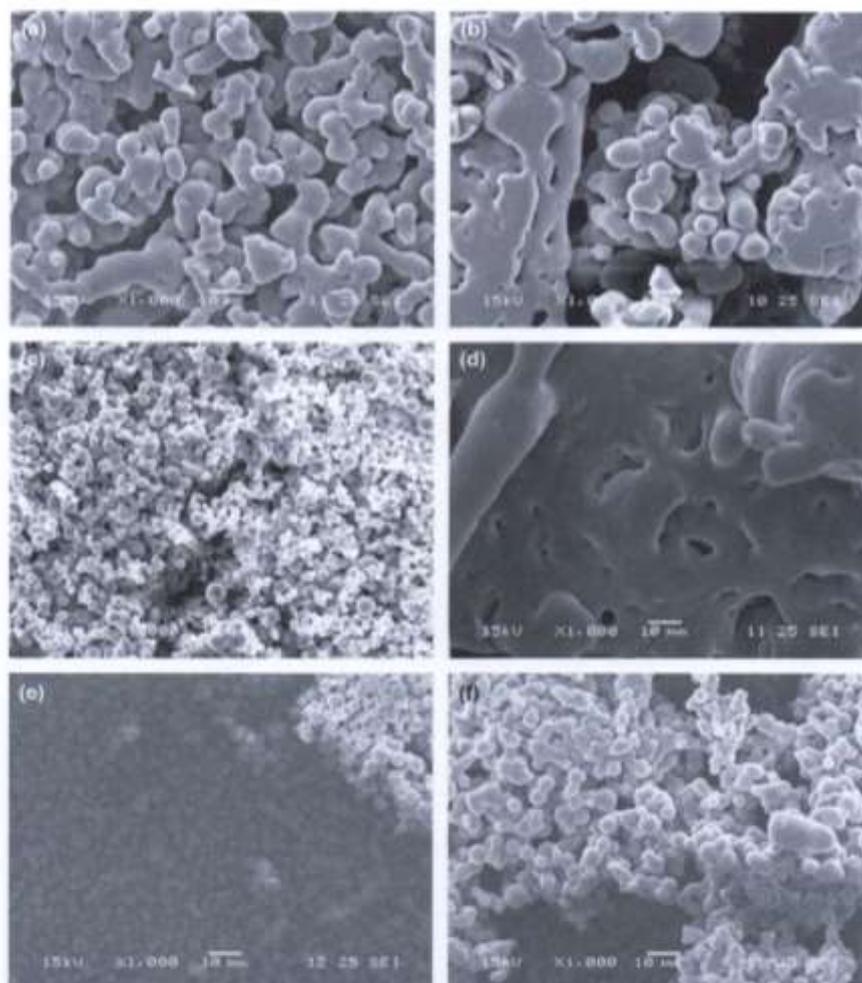
The values found for the particles of atomized lemon juice are higher than those reported by García-Cárdenas, Ciro-Velásquez, and Largo-Ávila (2015), in citrus flavor of encapsulated tangerine using 32% of a mixture of different covering materials (10 DE maltodextrin, Arabic gum and soy protein), ranging between 0.6 and 2.7  $\mu\text{m}$ .

Only the powder's size obtained with 1.2% grapefruit mesocarp as drying aid resembles the results reported by Paramita, Furuta, and Yoshida (2010), for limonene encapsulated by combinations of Arabic gum, maltodextrin and an emulsifying agent (1.41–3.43  $\mu\text{m}$ ) and Soottitawat et al. (2005), for encapsulated d-limonene using a mixture of Arabic gum and maltodextrin (0.84 to 3.37  $\mu\text{m}$ ).

Ordoñez and Herrera (2014) reported particle sizes from 4 to 17  $\mu\text{m}$  for matrices encapsulated in Arabic gum with cassava starch and limonene 50:50 and from 1.5 to 14  $\mu\text{m}$  for matrices encapsulated in Arabic gum with cassava starch and limonene 17:83. Additionally, they obtained particle sizes from 2 to 13  $\mu\text{m}$  for matrices encapsulated in whey protein concentrate and whey protein concentrate with cassava starch and limonene and from 1 to 9  $\mu\text{m}$  for Arabic gum with limonene.

### 3.3 | Morphology of spray-dried lemon juice

Figure 2 presents the images of lemon juice samples atomized using different percentages of pulverized encapsulating agent of mesocarp of grapefruit and the control of maltodextrin DE-10, taken with an Electronic Scanning Microscope. It can be seen that the particles of the juices obtained at different levels of the encapsulating agent have different sizes and shapes (spherical, irregular and shrunken or reduced), coinciding with that observed by Bhusari, Muzaffar, and Kumar (2014) in tamarind pulp in spray-dried powder using 40%, 50% and 60% maltodextrin DE-20 and Arabic gum.



**FIGURE 2** SEM photographs of the atomized lemon juice samples with different percentages of Mesocarp Powder Encapsulating Agent of Grapefruit: (a) 0.4; (b) 0.8; (c) 1.2; (d) 1.6; (e) 2.0; (f) 1.2% Maltodextrin DE-10. Magnification 1,000×

Atomized juices with 1.2% and 2.0% of mesocarp encapsulant and 1.2% of maltodextrin had a better defined spherical shape. In these dust particles, a continuous wall is observed with no cracks in the surface. These findings were also reported by Bhusari et al. (2014) in spray-dried tamarind pulp using 40%, 50% and 60% maltodextrin DE-20.

García-Cárdenas et al. (2015) also report having found almost complete spheroids without practical evidence of broken microcapsules in a tangerine citrus flavor encapsulated in different covering materials. They explain that this characteristic is indicative of the microcapsules' good structure found in the final product (powder).

The other percentages of encapsulant studied have very varied forms, being those of 1.6% the least similar to the others and not presenting fractions of spherical particles (they form sticky aggregates). The morphology exhibited by the atomized juice with 0.4% and 0.8% grapefruit encapsulant is similar to that observed by Lozano (2009), in *Opuntia stricta* juice samples sprayed with a ratio 1.8 of fructooligosaccharide Beneo P95/juice; while the particles of the atomized juice with 1.6% of grapefruit mesocarp

are more similar to that observed by the same author using ratios of fructooligosaccharide Beneo P95/juice of 0.45 and 0.90.

## 4 | CONCLUSION

The amount of encapsulant used in *Citrus latifolia* Tanaka juice did not change the glass transition temperature of the powders obtained by spray drying.

By applying different levels of coating agent in lemon juices, powder particles with different sizes and shapes (spherical, irregular and shrunken or reduced) are obtained.

From the doses used in this research, it was determined that 1.2% of grapefruit mesocarp could be used as an encapsulant for lemon juice during spray drying.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Murcia, ISA and Florida International Universities, and to the FONDOCYT of Dominican Republic.

## ETHICAL STATEMENT

This study does not involve any human or animal testing.

## CONFLICT OF INTEREST

None declared.

## ORCID

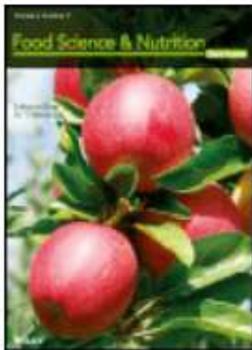
Yanilka Alcantara Marte  <http://orcid.org/0000-0002-6145-4984>

## REFERENCES

- Alcantara, Y., & Escotto, A. (2014). Efecto de dos métodos de deshidratación y dos grosores de lámina de mesocarpio de toronja criolla (*Citrus paradisi Macf*) sobre características fisicoquímicas de un agente encapsulante. Professional Postgraduate Report, Universidad ISA.
- Alcantara, Y., & Tejada, J. (2012). Establecimiento de protocolos para la conservación de ácidos naturales de cítricos. Fondocyt: Dominican Republic.
- Arellano, C. (2011). Extracción de luteína a partir de flores de tagete (*Tagete erecta*) y estabilización por microencapsulación. Thesis, University of Chile.
- Beristain, C. (1996). Estudio de las propiedades termodinámicas de microencapsulados por hidrocoloides naturales obtenidos por secado por aspersión y de la relación con su estabilidad. Doctoral Thesis, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. ID oai:tesiuam.izt.uam.mx:921.
- Bhandari, B., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., & Rigby, S. (1997). A semi-empirical approach to optimize the quantity required to spray dry sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15(10), 2509–2525. <https://doi.org/10.1080/07373939708917373>
- Bhusari, S. N., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, 354–364. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038>
- Bimbenet, J. J., Bonazzi, C., & Dumoulin, E. (2002). Drying of foodstuffs. Drying 2002. In *Proceeding of the 13th International Drying Symposium* (pp. 64–80).
- Chegini, R., & Ghobadian, B. (2007). Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3, 230–236.
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48, 478–483. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.025>
- García-Cárdenas, J., Ciro-Velásquez, H., & Largo-Ávila, E. (2015). Encapsulation of mandarin citrus flavor using spray drying technology and different wall materials. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 251–260.
- Goula, A., & Adamopoulos, K. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 342–351. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.12.001>
- Hashib, S., Rahman, N., Suzihaque, M., Kalthum, U., & Ibrahim, N. (2015). Effect of slurry concentration and inlet temperature towards glass temperature of spray dried pineapple powder. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 195, 2660–2667. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.472>
- Jittanit, W., Niti-Att, S., & Techanuntachaikul, O. (2010). Study of spray drying of pineapple juice using maltodextrin as an adjunct. *Chiang Mai Journal of Science*, 37(3), 498–506.
- Lozano, M. (2009). Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Thesis, Polytechnic University of Cartagena.
- Mani, S., Jaya, S., & Das, H. (2002). Sticky issues on spray drying of fruit juices. In *ASAE/CSAEC North Central Intersectional Meeting, Parktown Hotel, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, September* (pp. 27–28).
- Masters, K. (1991). *The spray drying handbook*. New York, NY: Longman Scientific and Technical.
- Ordoñez, M., & Herrera, A. (2014). Morphologic and stability cassava starch matrices for encapsulating limonene by spray drying. *Powder Technology*, 253, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.11.005>
- Paramita, V., Furuta, T., & Yoshiia, H. (2010). Microencapsulation efficacy of D-limonene by spray drying using various combinations of wall materials and emulsifiers. *Food Science and Technology Research*, 16(5), 365372.
- Patil, V., Chauhan, A., & Singh, R. (2014). Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technology*, 253, 230–6. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.11.033>
- Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 13, 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.009>
- Sootitiantawat, A., Bigeardb, F., Yoshila, H., Furuta, T., Ohkawara, M., & Linkod, P. (2005). Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated D-limonene by spray drying. *Innovative Food Science Emerging Technologies*, 6(1), 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.09.003>
- Tonon, R., Brabet, C., Pallet, D., Brat, P., & Hubinger, M. (2009). Physicochemical and morphological characterization of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(10), 1950–1958. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02012.x>
- Villacrez, L. (2013). *Desarrollo de microencapsulados por spray drying a partir de frutos de mora de castilla (Rubus glaucus Benth)*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia.
- Zuidam, N. J., & Heinrich, E. (2010). Encapsulation of aroma. In V. Nedovic (Ed.), *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing* (pp. 127–160). New York, NY: Springer.

**How to cite this article:** Alcantara Marte Y, Ros Berrueto G, Alcantara Marte Y, Escotto Tejada A. Effect of different concentrations of pulverized mesocarp of *Citrus paradisi Macf* on the morphology and glass transition temperature of spray-dried lemon juice powder. *Food Sci Nutr*. 2018;00:1–6. <https://doi.org/10.1002/fsn3.678>

## III



Food Science & Nutrition 

Effect of Different Concentrations of Pulverized Mesocarp of *Citrus paradisi* Macf. on the Bromatological Characteristics of Spray-dried Lemon Juice Powder

DOI:10.1002/fsn3.679

Publication status

Article accepted on 13 April, 2018

Received: 12 March 2018 | Revised: 12 April 2018 | Accepted: 14 April 2018

DOI: 10.1002/fsn3.679

## ORIGINAL RESEARCH

WILEY Food Science &amp; Nutrition

# Effect of different concentrations of pulverized mesocarp of *Citrus paradisi* Macf. on the bromatological characteristics of spray-dried lemon juice powder

Yanilka Alcantara Marte<sup>1,2</sup>  | Yulisa Alcantara Marte<sup>2</sup> | Andrea Escotto Tejada<sup>2</sup> | Gaspar Ros Berruezo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Veterinary Sciences, Regional Campus of International Excellence "Campus Mare Nostrum", University of Murcia, Espinardo, Spain

<sup>2</sup>Food Technology Department, Faculty of Agrifood Science and Environment, Universidad ISA, Santiago de Los Caballeros, Dominican Republic

## Correspondence

Yanilka Alcantara Marte and Gaspar Ros Berruezo, Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Veterinary Sciences, Regional Campus of International Excellence "Campus Mare Nostrum" University of Murcia, Espinardo, Spain.  
Emails: yalcantara@isa.edu.do; yanilkayulisa.alcantara2@um.es; gros@um.es

## Abstract

The aim of this research was to evaluate the effect of different concentrations of pulverized mesocarp of *Citrus paradisi* Macf. as a drying aid on the bromatological characteristics and yield of spray-dried lemon juice powder. Five concentrations of grapefruit mesocarp encapsulant (0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0% (w / w)) and maltodextrin DE 10 (1.2%, w / w) were evaluated as encapsulant agents. The highest yield (46.76%) was obtained with 1.2% of grapefruit encapsulant. Water activity and ash content were inversely proportional to the added encapsulant concentration. The highest moisture value was obtained with 0.4% and the highest soluble solids with 2.0%. For all treatments, the pH level did not change, except at 0.4% (it was lower). The concentrations of the encapsulants significantly affected the evaluated characteristics, except for the proteins.

## KEYWORDS

bromatology, *Citrus paradisi*, encapsulant, lemon juice, mesocarp, spray-dry

## 1 | INTRODUCTION

An encapsulating agent, coating material, or drying aid is a compound that forms a thin layer on a surface. They are used to protect a substance or an object from atmospheric humidity and ultraviolet light, among others (Castañeta, Gemio, Yapu, & Nogales, 2011). Currently, there are no coating materials with perfect encapsulation properties for the retention of volatile compounds and the protection against oxidation, or with good emulsifying properties. However, the solubility, hydrophobicity, permeability, and other properties of the material used as a coating agent have a predominant influence on the final product's characteristics (Lozano, 2009).

According to Arellano (2011), a wide variety of coating agents is used in the food industry. The ones used most are polysaccharides (starch, maltodextrin, cyclodextrins, carboxymethylcellulose,

gum arabic, and sodium alginate), lipids (waxes and fats), and proteins (gelatin, soy protein, caseinates, buttermilk, and zein) (Gouin, 2004). Beristain (1996) indicates that each of these materials has its limitations; for instance, chemically modified starches have excellent retention of volatile compounds during drying but poor protection against oxidation. On the other hand, partially hydrolyzed starches (maltodextrins, glucose solids syrup, and others) protect against oxidation but lack emulsifying properties. Gum arabic has excellent emulsifying properties and good retention of volatiles; however, it provides limited protection against oxidation of the encapsulated substance, and in recent years, its high cost and scarcity have limited its use.

Fresh citrus mesocarp constitutes around 20%–60% of the whole fruit (Fennema, 1993), depending on its genotype and maturity stage. Citrus mesocarp contains 75%–80% of water, while its

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2018 The Authors. Food Science & Nutrition published by Wiley Periodicals, Inc.

main components, calculated in relation to the dry matter, are 44% sugars, 33% cellulose, and 20% pectic substances. It also contains flavonoids, amino acids, and vitamins (Fennema, 1993). However, apart from these nutritional properties, this material is currently wasted during the processing of the grapefruit.

The limited availability of materials used as encapsulating agents and the fact that they have a high cost evidences the need to identify unconventional sources of biomolecules or the like, with functional characteristics similar to those existing. This, along with the nonutilization of by-products generated in the industrial processing of citrus fruits, led to the development of Alcantara and Escotto's (2014) study, in which an encapsulating agent was obtained from the grapefruit mesocarp.

As a follow-up to the aforementioned study, the present investigation proposes the evaluation of different concentrations of the encapsulating agent (obtained from the grapefruit mesocarp by Alcantara & Escotto, 2014), which are evaluated in the spray-drying of Persian lemon juice. This is proposed as an alternative to the existing encapsulants in the market, so as to take advantage of a by-product generated in the industrial processing of grapefruits, add value, and enable the industrialization and commercialization of a more durable, alternative product that conserves the maximum properties of the encapsulated juice.

Citrus fruits are seasonal; therefore, prices usually fall at the peak of production. For producers, this represents significant losses as the prices do not compensate the production costs. The short shelf life of these species causes losses and can negatively influence trade and consumer confidence (Alcantara & Tejada, 2012). For instance, in a given period, lemons disappear from the market or reach prices so high that most consumers cannot afford. The same happens with other tropical fruits, such as avocado, mango, pineapple, and others. An alternative to mitigate the inconveniences faced by lemon producers and consumers is processing the fruits during the high-production season. Dehydration of Persian lemon juice was performed due to its nutritional characteristics, short shelf life, and variability in the behavior of prices, given the seasonality of its production.

## 2 | MATERIALS AND METHODS

### 2.1 | Raw materials

The fruits of *Citrus latifolia* Tanaka were acquired in Santiago de los Caballeros, Dominican Republic, and were used to obtain the drying aid, according to Alcantara and Escotto's (2014) methodology. Maltodextrin DE 10 was used for the encapsulation of the control treatment.

### 2.2 | Experimental design

For this study, a completely randomized design was used to evaluate the effect of five concentrations of encapsulant from *Citrus paradisi* (0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0%) as independent variables on yield, physicochemical characteristics (pH level, water activity, and solids soluble), and composition (moisture, protein, ash,

carbohydrate content, total phenolic compounds, total flavonoids, and ascorbic acid) of the encapsulated lemon juice. Additionally, 1.2% maltodextrin 10 DE was used as a control. In total, there were six treatments with three replicates, resulting in 18 experimental units.

### 2.3 | Process for the lemon (*Citrus latifolia* Tanaka) juice encapsulation

The fruits of *C. latifolia* Tanaka were received in the Food Processing Plant of ISA University and then weighed and selected according to color, size, and appearance (without physical defects). After selection, they were treated with a sodium hypochlorite solution at 100 ppm and allowed to drain for 10 min. Then, they were weighed again and split into two halves. The juice was extracted using manual juicers and filtered using a No. 32 mesh Tyler sieve.

The treatments were prepared by adding 0.5% of tricalcium phosphate as an anti-adherent (to avoid stickiness and decrease the encapsulated product's hygroscopicity), and the concentration corresponded to the encapsulating agent ( $i = 0.4, 0.8, 1.2, 1.6,$  and  $2.0\%$  pulverized grapefruit mesocarp; 1.2% maltodextrin DE 10). The percentages were established based on the lemon juice. It was mixed in an Osterizer 4655 electric mixer at full speed for a minute, filtered through a No. 32 Mesh Tyler sieve, to retain any possible particles and avoid obstructions in the atomization needle, and then dried in the Spray Dehydrator YC-015 SD.

The drying conditions were kept constant: inlet air temperature 130°C, spray air pressure of 3.4 bar, air blower: 4 kg/cm<sup>2</sup>, feed rate: 0.9 L/hr, outlet air temperature 75°C. The particle size was 0.7 mm.

The obtained powder was immediately packed and vacuum sealed in bags. It was stored at 25°C until evaluation.

### 2.4 | Evaluated variables

#### 2.4.1 | Yield

Yield was evaluated using the methodology described by Lozano (2009), applying the following formula:

$$\% \text{Yield} = \frac{\text{Grams obtained}}{\text{Grams offered}} \times 100$$

The values of grams offered were calculated from the grams of material, and the juice volume was used as the starting material, according to the following equation:

$$\text{Grams offered} = \text{g material} + \text{Vol. Juice (L)} \times [\text{Juice}] (\text{°Brix}) \times 10$$

#### 2.4.2 | Physicochemical variables

Samples were prepared by dissolving 1 g of encapsulated lemon juice in 10 ml of water for the evaluation of the physicochemical variables, except for water activity, moisture, protein, and ash, for which the powder was used directly.

pH: This determination was made by potentiometry at 20°C using a Hach SensION+ 5050T pH meter.

Water activity was determined using the Rotronic HygroPalm (HP-23), by placing 1 g of encapsulated lemon juice in the cell of the device and waiting for the reading.

Soluble solids were determined using the method 11-15 of Hart and Fisher (1971), using a refractometer (Atago).

### 2.4.3 | Compositional variables

Moisture was determined according to the International AOAC Method (934.01), using the following formula:

$$\text{Moisture Content(\%)} = \frac{\text{Wet sample weight} - \text{Dry sample weight}}{\text{Wet sample weight}} \times 100$$

Proteins were determined according to Method 2001.11 of the International AOAC.

Ash was determined using Method 923.03 of the International AOAC.

Carbohydrates were determined by applying the phenol-sulfuric method (Dubois, Gilles, Hamilton, Rebers, & Smith, 1956). The intensity of the orange color was read at 480 nm on a Hach DR 3900 spectrophotometer, against a target prepared in the same manner using water. The amount of carbohydrates present in the sample was calculated from a standard curve prepared with the carbohydrate of interest, treated in the same way as the problem.

Total phenolic compounds were determined using the Folin-Ciocalteu technique (AOCS, 1990). The calibration curve was prepared using a gallic acid standard solution (0.1 mg/ml); to determine the phenols in the sample, the absorbance was measured at 760 nm on the Hach DR 3900 spectrophotometer. The results were expressed as mg of gallic acid equivalent per g sample.

Flavonoids content was determined using Liu et al.'s (2002) method: a calibration curve was prepared using a standard quercetin solution (0.1 mg/ml). The absorbance was measured at 510 nm immediately before 30 min, using the Hach DR 3900 spectrophotometer. The results were expressed as mg of quercetin equivalent per g sample.

Ascorbic Acid: was determined using the method reported by Hung and Yen (2002). The calibration curve was prepared with ascorbic acid, oxalic acid, and distilled water. Absorbance was adjusted to zero, samples were prepared (100  $\mu$ l aqueous extract, with 900  $\mu$ l of 2,6 dichlorophenolindofenol), and vitamin C was measured on the Hach DR 3900 spectrophotometer at a wavelength of 515 nm. The results were expressed as mg of ascorbic acid equivalent per gram of sample.

### 2.5 | Statistical analysis

The obtained data were evaluated by one-way ANOVA. Means were separated using Tukey's test ( $p < 0.05$ ). These analyses were performed using Statistix version 8.0. For the representation of the results, the arithmetic mean was used as the central measure  $\pm$  SD of three replicates; for the means separation, the Tukey test was applied with a 95% reliability.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 | Effect of different concentrations of encapsulant retrieved from *Citrus paradisi* Macf. mesocarp on yield of spray-dried lemon juice

Figure 1 shows the results of the encapsulated lemon juice yield obtained in this investigation. The yield ranged from 28.15% to 46.76%, corresponding the highest value to the T<sub>12</sub> treatment, followed by the T<sub>20</sub> treatment (38.31%) and the control (36.67%). These results can be explained by Caliskan and Dirim's (2013) argument, who state that an increase in the amount of encapsulating agent after a certain interval is not efficient in yields but increases the process cost. Similarly, Fang and Bhandari (2012) found that increasing the maltodextrin concentration above 30% does not have a significant effect on the increase in obtained product yield, considering this concentration as the amount required for a successful drying process of berry juice. In contrast, Mendoza (2015)

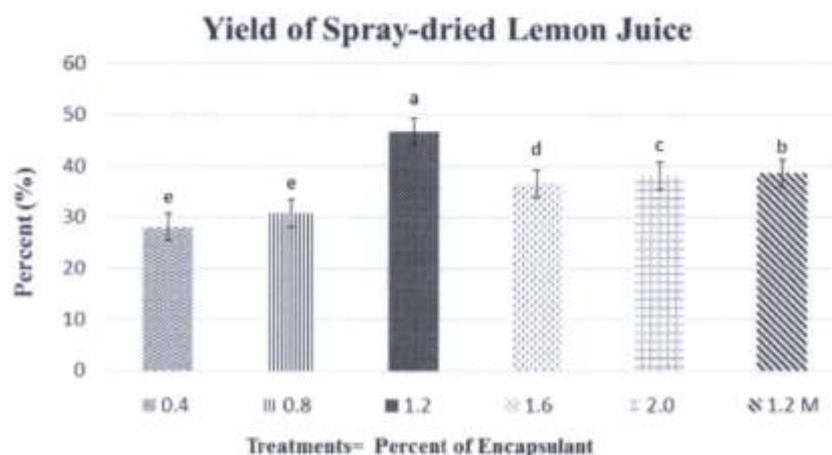


FIGURE 1 Yield of Spray-dried Lemon Juice

stated that as the concentration of maltodextrin increases from 20% to 30%, the yield of the product increases because the content of solids in the formulation increases. This is because maltodextrin also causes an increase in the particles size, which makes them less fine; the lowest yield (48.08%) was obtained using 15% of maltodextrin, while the highest value was 74.85% for the treatment, with 30% of this encapsulant.

The yield values found in this study are similar to those obtained by Rivas (2010), who observed a 42% yield for cherimoya juice. However, they are well below the values obtained by Lozano (2009) for microencapsulates of *Opuntia stricta* juice by spray-drying (51% in the absence of drying aid, and 60–70% with fructooligosaccharides), which is probably due to the high sugar content of citrus juices that causes the product to adhere to the walls of the equipment.

The low values of yield reported in this research can be explained by Lopez, Carvajal, and Millan's (2009) argument, who concluded that a high concentration of total solids in the product is a critical factor in increasing yield in the drying process. The authors estimated that 40% was the minimum soluble solids content expected to get a good yield; therefore, they used 39.95% of maltodextrin (with 21% dextrose equivalents) to dry banana pulp by spray and obtained a 67% yield. Similarly, Sansone et al. (2011) indicate that a pectin concentration lower than 1% in the feed solution is unable to form well-coated droplets, resulting in the loss of core material during spray-drying (poor retention of solids after drying).

On the other hand, Romero, Lamuela, Andres, and de La Torre (2001) state that exposure to high temperatures over a prolonged period decreases yield due to the thermal degradation of the compounds. Jun-xia, Hai-yan, and Jian (2010) explain that the pH level significantly affects the coacervation between soy isolate protein and gum arabic: pH values of 3.5 or lower result in a significant reduction in coacervate yield.

Moser, Souza, and Nicoletti (2017), using mixtures of whey protein concentrate/maltodextrins and soy isolate protein/maltodextrin, reported that regardless of the protein used, the concentration of the drying aid had a significant effect ( $p < 0.05$ ) on yield (with values between 3.15–75.58%).

### 3.2 | Effect of different concentrations of encapsulant retrieved from *Citrus paradisi* mesocarp on the physicochemical characteristics of spray-dried lemon juice

According to the results of the physicochemical characteristics of encapsulated lemon juice (Table 1), the concentration of pulverized mesocarp from *C. paradisi* Macf. significantly affects the studied variables.

Tonon, Brabet, and Hubinger (2008) argue that the final characteristics of a powdered product obtained by spray-drying depend on some process variables, such as liquid characteristics (solids and viscosity). Zapata, Rojano, and Cortes (2015) ensure that through the drying processes, to which the fruit juices are subjected, various physicochemical changes are generated; they indicate that because the heat directly interferes with spray-drying, thermal degradation is the most important deteriorating phenomenon.

The results of the present study are corroborated by what was observed by Mendoza (2015), who indicated that all his response variables presented significant differences with respect to the percentage of maltodextrin used to spray-dry a whey-based and mango pulp-based products.

The mean pH values of the treatments of this research (Table 1) are statistically equal to those of the control, with the exception of the T<sub>0.4</sub> treatment (juice with 0.4% of encapsulating agent of grapefruit mesocarp); they are also similar to those found by Badillo (2011) for Persian lemon dehydrated in microwaves and dehydrated in trays, corresponding to 3.2–3.5, respectively. Badillo (2011) expresses that acidity increases in dehydrated products because their salts dissociate. The results obtained could also be due to the occurring temperature gradients that cause water diffusion and change its properties in the interior of the foods (Rocca, 2010).

Regarding water activity (Table 1), the results show that the treatments with 1.6% and 2.0% encapsulating agent are statistically equal to the control; whereas, the other treatments are equal to each other, but different from the control. This difference was found by increasing the encapsulant concentration, perhaps because diffusing water through it is difficult. According to Torres (2009), when the additive amount (encapsulant) is low, very unstable particles are

Encapsulant concentration (%)	Hydrogen potential (pH)	Water activity (Aw)	Soluble solids (°Brix)
0.4	3.041 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.3653 ± 0.01 <sup>a</sup>	8.60 ± 0.53 <sup>c</sup>
0.8	3.073 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.3637 ± 0.00 <sup>a</sup>	10.33 ± 0.58 <sup>ab</sup>
1.2	3.079 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.3687 ± 0.00 <sup>a</sup>	9.50 ± 0.79 <sup>bc</sup>
1.6	3.072 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.3330 ± 0.01 <sup>b</sup>	8.93 ± 0.15 <sup>bc</sup>
2.0	3.063 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.3310 ± 0.00 <sup>b</sup>	11.33 ± 0.58 <sup>a</sup>
1.2 Maltodextrin	3.078 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.3393 ± 0.01 <sup>b</sup>	8.93 ± 0.11 <sup>bc</sup>

**TABLE 1** Results for the physicochemical characteristics of spray-dried lemon juice

Equal letters in the same column indicate that there is no significant statistical difference ( $p > 0.05$ ) between the means of the evaluated treatments.

Values placed after the ± symbol indicate standard deviation.

formed, which undergo some collapse during the drying process, giving high values of water activity; the lowest values corresponded to the treatments with higher encapsulant concentrations perhaps because in these cases, the particles showed more stability against the temperature, resulting in a more efficient drying.

Mendoza (2015) suggests that at a high spray rate (26,000 rpm) and constant temperature, the increase in the maltodextrin concentration leads to the formation of larger particles, with greater area of heat and mass transfer, decreasing product moisture and its aw. This argument is also confirmed by Torres (2009), who states that drying and concentration processes are used to reduce the water content of a food. Thus, he found that the composition and inlet air temperature influence the value of aw of the dehydrates by increasing solutes concentration and decreasing water activity; he concluded that with a high additive amount (22% maltodextrin) and high inlet air temperature (150°C), lower values (0.165) and therefore more stable solids are obtained.

Additionally, Rodríguez, González, Grajales, and Ruiz (2005) tested for the atomized fig juice, whose dry powder particles were very hygroscopic when the particles had little amount of additive, so that once the powder was formed, being suspended in the humid air, they could be partially hydrated.

The evaluated samples presented aw values between 0.3310 and 0.3687, similar to those obtained by Mendoza (2015), who obtained values between 0.205 and 0.368; these values are also close to those reported by Queck, Chok, and Swedlund (2007) in the drying of watermelon juice (aw ~ 0.3), which according to the mentioned author, allows to consider these food products as microbiologically stable, having a lower water content available for the development of biochemical reactions (aw < 0.6). Marques, Ferreira, and Freire (2007) and Caliskan and Dirim (2013) report that values from 0.2 to 0.4 ensure the stability of the product against reactions of darkening and hydrolytic reactions, lipid oxidation, autoxidation, and enzymatic activity.

On the other hand, Sahin, Dinçer, Torun, Topuz, and Özdemir (2013) reported that the increase in the concentration of

encapsulating agents slightly reduced the water activity value, but not significantly. Congruent results were published by Carrillo et al. (2011), Fang and Bhandari (2012), Fazaeli, Emam, Kalbasi, and Omid (2012), and Bustos, Yáñez, and Barragán (2013).

The soluble solids' results obtained in this research (Table 1) show that the treatments evaluated are statistically equal to control, except for the treatment with 2.0% of encapsulating agent. These values are within the range reported by Kimball (2002) and Mendoza (2003) for dehydrated lemon (8 and 15°Brix). However, these are lower than the value published by Rivas (2010), which corresponds to 24 °Brix; this difference could be because the author used 50% of maltodextrin as an encapsulating agent. On the other hand, Lopez et al. (2009) obtained 46.44 °Brix using 39.95% maltodextrin to dry banana pulp by spray-drying.

### 3.3 | Effect of different concentrations of encapsulant retrieved from *Citrus paradisi* mesocarp on spray-dried lemon juice composition

Mendoza (2015) asserts that the proportion of nutrient content in the products evidences the influence of the materials and processing process.

Table 2 contains the mean values of the nutritional properties evaluated in encapsulated Persian lemon juices. For the moisture content, it was determined that only the treatment with 0.8% of encapsulating agent is statistically different from the control; the other treatments presented equal or lower moisture percentages, this being a favorable characteristic for the encapsulated product. The highest value was obtained with 0.4% of the encapsulating agent and the control, whereas the lowest value was reported for the concentration of 0.8%. This value is contrary to what was published by Naddaf, Avalo, and Oliveros (2012) who found that the encapsulant that provided the highest moisture protection was 5% maltodextrin, when natural orange juice was spray-dried using maltodextrin and gum arabic as carrier agents.

**TABLE 2** Results of the composition of spray-dried lemon juice

Encapsulant concentration (%)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	1.2 Maltodextrin
Moisture (%)	5.67 ± 0.58 <sup>a</sup>	3.67 ± 0.58 <sup>b</sup>	5.33 ± 0.58 <sup>ab</sup>	4.00 ± 0.00 <sup>ab</sup>	4.33 ± 0.58 <sup>ab</sup>	5.67 ± 1.15 <sup>a</sup>
Protein (%)	2.12 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.09 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.10 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.90 ± 0.21 <sup>a</sup>	2.01 ± 0.15 <sup>a</sup>	1.92 ± 0.06 <sup>a</sup>
Ash (%)	16.07 ± 0.23 <sup>a</sup>	15.60 ± 0.53 <sup>ab</sup>	15.33 ± 0.23 <sup>abc</sup>	14.87 ± 0.11 <sup>bc</sup>	14.63 ± 0.15 <sup>c</sup>	14.73 ± 1.14 <sup>bc</sup>
Carbohydrates <sup>*</sup>	15.16 ± 0.62 <sup>c</sup>	16.99 ± 0.23 <sup>b</sup>	16.70 ± 0.62 <sup>bc</sup>	16.95 ± 0.97 <sup>b</sup>	19.16 ± 0.20 <sup>a</sup>	15.06 ± 0.71 <sup>c</sup>
TPC	100.47 ± 0.49 <sup>a</sup>	117.22 ± 0.49 <sup>d</sup>	122.05 ± 1.65 <sup>c</sup>	138.81 ± 0.49 <sup>b</sup>	143.00 ± 1.41 <sup>a</sup>	91.70 ± 1.15 <sup>f</sup>
TF	0.113 ± 0.00 <sup>e</sup>	0.178 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.179 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.185 ± 0.00 <sup>e</sup>	0.307 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.300 ± 0.00 <sup>b</sup>
AA	53.61 ± 0.00 <sup>f</sup>	147.74 ± 0.86 <sup>d</sup>	180.18 ± 0.00 <sup>f</sup>	209.43 ± 2.27 <sup>b</sup>	304.07 ± 2.37 <sup>a</sup>	113.18 ± 2.87 <sup>e</sup>

TPC, Total Phenolic Compounds (mg Gallic Acid Equivalents/g sample); TF, Total Flavonoids (mg Quercetin Equivalents/g sample); AA, Ascorbic acid (mg Ascorbic Acid Equivalents/g sample).

Equal letters in the same line indicate that there is no significant statistical difference ( $p > 0.05$ ) between the means of the evaluated treatments.

Values placed after the ± symbol indicate standard deviation.

<sup>\*</sup>(mg Glucose Equivalents/g sample).

The moisture content of all the treatments evaluated in this study is similar (2–6%) to that reported by Castro (2014) for spray-dried clarified purple nopal juice and to that observed by Saenz, Tapia, Chávez, and Robert (2009) for drying of nopal juice. They are also congruent with those found by Mendoza (2015), who reported values between 1.48% and 5.84%, the highest corresponding to the lowest concentrations of maltodextrin used; additionally, the product moisture changed from 4.70% to 2.52% by increasing the maltodextrin concentration from 20% to 30%. Similarly, Mishra, Mishra, and Lata (2013) reported that the increase in maltodextrin concentration significantly decreases the moisture content of the powder obtained from amla currant juice (5.6%–3.8%, with maltodextrin values of 5%–9%).

These facts can be explained with what is exposed by Abadio, Domingues, Borges, and Oliveira (2004), who state that in a spray-drying system, the water content of the feed affects the final moisture content of the powder obtained. The authors explain that the addition of maltodextrin to feed before drying increases the total solids content and reduces the amount of water available for evaporation, which according to Queck et al. (2007), means that powders with lower moisture content could be obtained by increasing the percentage of added maltodextrin.

Table 2 shows that the concentration of the encapsulating agent used does not affect the protein content of the dehydrated product; the treatments evaluated are statistically equal to the control. The values found are higher than reported by Caez and Jaraba (2012) for mango juice encapsulated with maltodextrin (0.59%) and close to that observed by Mendoza (2015) for the powdered product obtained from whey and mango pulp (2.56%).

On the other hand, Naddaf et al. (2012) found that the best protective matrix of proteins was the maltodextrin at 5% and 7% when spray-drying natural orange juice using maltodextrin and gum arabic.

Concerning the ash content, only the treatment with 0.4% of the encapsulating agent is different from the control and is the one with the highest value (16.07%). In general, the ash content decreased as the concentration of the added encapsulating agent increased.

The ash percentages found are higher than the values obtained by Caez and Jaraba (2012), who reported 0.429% of ash in mango juice microencapsulated with maltodextrin DE 19. These values are also higher than those obtained by Rivas (2010) in enzymatically stabilized cherimoya juice that was microencapsulated using 50% of maltodextrin, corresponding to values between 1.23% and 2.12%. Contrary to what was published by Badillo (2011), who expresses that the ash percentage increases with dehydration because of the desiccation progresses, the water content decreases in Persian lemon dehydration in microwaves and trays, allowing the minerals elements be in higher concentration.

The results obtained for carbohydrates show that only the  $T_{04}$  and  $T_{12}$  treatments are equal to the control; the others present a greater amount of carbohydrates, indicating that the pulverized grapefruit mesocarp has greater protective effect of this variable.

Table 2 shows that the treatments evaluated are statistically different from each other. The content of total phenolic compounds of the different treatments is greater than the control and as the concentration of encapsulant increases, so does the value of the phenolic compounds; therefore, it could be said that higher the concentrations of the encapsulating agent of pulverized grapefruit mesocarp, the greater protective effect of this variable.

Contrary to the results obtained in this research, Vergara, Guerrero, and Salazar (2009), who evaluated the antioxidant agents of a microencapsulated Jamaica flower extract using mesquite gum at concentrations of 1, 2, 3, 4, and 5%, affirmed that the concentration of mesquite gum did not have a significant effect on the content of phenolic compounds, concluding that all treatments had the same protective effect.

On the other hand, Cardona, Hee, and Talcott (2009) reported losses of 21.5% of Muscadine grape phenolic compounds in a spray-drying process without the encapsulating agent.

The total flavonoid content for the control was higher (0.300 mg Quercetin Equivalents/g sample) than the other treatments evaluated in the investigation, except for the  $T_{20}$  treatment, which had a higher content. These results suggest that increasing the amount of the encapsulant gives higher content of total flavonoids, perhaps because of the protective effect it offers.

Munguía, Castillo, and Elorza (2014) microencapsulated the active compounds of nopal (*Opuntia ficus-indica*) samples, using seyal gum, Senegal gum, and maltodextrin as encapsulating agents; they determined that the flavonoids of the analyzed samples had greater protection and stabilization/stability when gum arabic and seyal gum are used as wall materials because they provide protection during the encapsulation.

According to the results obtained for ascorbic acid content, Table 2 shows that only the treatment with 0.4% of pulverized grapefruit mesocarp has a lower content of ascorbic acid than the control, so that the other treatments provide better results, which favors the research. The data shown further suggest that the ascorbic acid content also increased as the encapsulant concentration is increased. The treatment that showed greater protection to ascorbic acid was the encapsulating agent of grapefruit with a concentration of 2.0%.

In Gonzalez, Gonzalez, and Rosales's (2011) spray-dried study of watermelon juice (*Citrullus lanatus* Thunb) using maltodextrin and gum arabic as encapsulating agents at concentrations of 0.5% and a mixture of both at the concentration of 0.5%, they determined that the treatment corresponding to 0.5% of the mixture of maltodextrin DE 10 and gum arabic (1: 1) w / w was better; they stated that in this treatment, the volatile compounds in the spray-dried powdered watermelon product did not show significant difference against the original extract.

The findings in this study are also confirmed by Liu (2014), who states that the pectin–starch relation influences the physical and functional properties of the encapsulated ascorbic acid microparticles; their results suggested that the proportion of starch–pectin influenced the encapsulation efficiency of ascorbic acid more than the type of starch.

## 4 | CONCLUSION

The yield of the encapsulated lemon juice is significantly influenced using different concentrations of pulverized grapefruit mesocarp (0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0%). The concentrations of pulverized mesocarp from creole grapefruit (*C. paradisi* Macf.), used in this research, significantly affect the evaluated physicochemical characteristics (pH, water activity, and soluble solids) of the encapsulated lemon juice. Raising the encapsulant concentration increases the pH level and decreases the water activity of the encapsulated juice.

Using different concentrations of pulverized grapefruit mesocarp (0.4, 0.8, 1.2, 1.6, and 2.0%) has a significant influence on the composition of the encapsulated lemon juice (percentage of moisture, ash, carbohydrate content, total phenolics, flavonoid content, and ascorbic acid content), except for the protein content of the juices. As the concentration of drying aids increases, so does the content of bioactive components. From the doses used in this research, it was determined that 1.2% of grapefruit mesocarp could be used as an encapsulant for lemon juice during spray-drying.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Murcia and ISA Universities, and the FONDOCYT of the Dominican Republic.

## ETHICAL STATEMENTS

This study does not involve any human or animal testing.

## CONFLICT OF INTEREST

None declared.

## ORCID

Yanilka Alcantara Marte  <http://orcid.org/0000-0002-6145-4984>

## REFERENCES

- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC*. International 17th edition. Gaithersburg, MD, USA Association of Analytical Communities.
- Abadio, F., Domingues, A., Borges, S., & Oliveira, V. (2004). Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice - effect of maltodextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64, 285-287. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.10.010>
- Alcantara, Y., & Escotto, A. (2014). *Efecto de dos Métodos de Deshidratación y dos Grosos de Ldmina de Mesocarpio de Toronja Criolla [Citrus paradisi Macf] sobre Características Fisicoquímicas de un Agente Encapsulante*. Professional Postgraduate Report. Universidad ISA.
- Alcantara, Y., & Tejada, J. (2012). *Establecimiento de Protocolos para la Conservación de Ácidos Naturales de Cítricos*. Universidad ISA, Santiago de los Caballeros, Dominican Republic: FONDOCYT.
- AOCS (1990). In: *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society*, 4th edn. Champaign, IL: American Oil Chemists' Society.
- Arellano, C. (2011). *Extracción de Luteína a partir de Flores de Togete (Togete erecta) y Estabilización por Microencapsulación*. Thesis. University of Chile.
- Badillo, M. (2011). *Estudio Comparativo del Potencial Nutritivo del Limón Persa (Citrus latifolia tanaka) Deshidratado en Secador de Bandejas y en Microondas*. Thesis. Polytechnic School of Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Identifier: UDCTFC: 56T00258.
- Beristain, C. (1996). *Estudio de las Propiedades Termodinámicas de Microencapsulados por Hidrocoloides Naturales Obtenidos por Secado por Aspersión y de la Relación con su Estabilidad*. Doctoral Thesis. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. ID oai:teskuami.izt.uam.mx:921.
- Bustos, C., Yáñez, J., & Barragán, B. (2013). Thermal and pH stability of spray-dried encapsulated astaxanthin oleoresin from *Haematooccus pluvialis* using several encapsulation wall materials. *Food Research International*, 54, 641-649. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.061>
- Caez, K., & Jaraba, N. (2012). *Microencapsulación del Jugo de Mango (Mangifera indica L.) para la Obtención de un Concentrado con la Utilización de Maltodextrina como Material Pared*. Thesis. University of Cartagena.
- Caliskan, G., & Dirim, N. (2013). The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and Bioprocess Processing*, 91, 539-548. <https://doi.org/10.1016/j.jfbp.2013.06.004>
- Cardona, J., Hee, L., & Talcott, S. (2009). Color and polyphenolic stability in extracts produced from muscadine grape (*Vitis rotundifolia*) Pomace. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 57(18), 8421-8425. <https://doi.org/10.1021/jf901840t>
- Carrillo, H., González, D., Cruz, J., Barrera, J., Román, A., & Pérez, C. (2011). Storage stability and physicochemical properties of passion fruit juice microcapsules by spray-drying. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(3), 421-430.
- Castañeta, H., Gemio, R., Yapu, W., & Nogales, J. (2011). *Microencapsulación, un Método para la Conservación de Propiedades Fisicoquímicas y Biológicas de Sustancias Químicas*. *Revista Boliviana de Química*, 28(2), 135-140.
- Castro, R. (2014). *Efecto del Secado por Aspersión en la Estabilidad de Componentes Bioactivos de Tuna Morada (Opuntia ficus-indica)*. Thesis of Master. National Polytechnic Institute, Mexico Federal District. <http://hdl.handle.net/123456789/19733>.
- Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48, 478-483. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.025>
- Fazaeli, M., Emam, Z., Kalbasi, A., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioprocess Processing*, 90, 667-675. <https://doi.org/10.1016/j.jfbp.2012.04.006>
- Fennema, O. (1993). *Química de los Alimentos*. Ed. Acribia, S. A. Zaragoza, España, 1095 p.
- Gonzalez, H., Gonzalez, S., & Rosales, T. (2011). Caracterización de compuestos volátiles durante el Secado por Aspersión de Jugo de Sandía (*Citrullus lanatus* T.). *Investigación y Ciencia*, 51(19), 10-15.
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 330-347. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>
- Hart, F., & Fisher, H. (1971). *Análisis Moderno de los Alimentos*. Editorial Acribia. I.S.B.N.:84-200-0297-6.
- Hung, C., & Yen, G. (2002). Antioxidant activity of phenolic compounds isolated from mesona procumbens hemsl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 2993-2997. <https://doi.org/10.1021/jf011454y>

- Jun-xia, X., Hai-yan, Y., & Jian, Y. (2010). Microencapsulation of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum arabic. *Food Chemistry*, 125(2011), 1267–1272.
- Kimball, D. (2002). *Procesado de Cítricos*, Segunda Edición. Zaragoza - España: Acribia. ISBN: 9788420009650.
- Liu, Y. (2014). *Starch-pectin matrices for encapsulation of ascorbic acid*. Dissertations & Theses in Food Science and Technology Department. University of Nebraska, Lincoln.
- Liu, M., Li, X., Weber, C., Lee, C., Brown, J., & Liu, R. (2002). Antioxidant and antiproliferative activities of raspberries. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 2926–2930. <https://doi.org/10.1021/jf0111209>
- Lopez, B., Carvajal, L., & Millan, L. (2009). Establishing of the conditions of the blend of Pulp with Banana (*Musa paradisiaca* L.) to submit spray drying. *Vitae*, 16(3), 287–296. ISSN 0121-4004
- Lozano, M. (2009). *Obtención de Microencapsulados Funcionales de Zumo de Opuntia stricta Mediante Secado por Atomización*. Thesis: Polytechnic University of Cartagena.
- Marques, L., Ferreira, M., & Freire, J. (2007). Freeze-drying of Acerola (*Malpighia glabra* L.). *Chemical Engineering Process*, 46, 451–457. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.04.011>
- Mendoza, L. (2003). *Evaluación de los Carotenoides Presentes en la Cáscara de Naranja (Citrus sinensis L.) variedad California (Washington novel) y Pineapple Criolla*. Grade work. UNESR. Caonabo, Venezuela.
- Mendoza, F. (2015). *Evaluación de las Condiciones de Secado por Aspersión de un Producto a Base de Lactosuero y Pulpa de Mango Variedad Magdalena River (Mangifera indica) Adicionado con Bifidobacterium bifidum*. Thesis of Master in Agro-alimentary Sciences. University of Cordoba.
- Mishra, P., Mishra, S., & Lata, M. (2013). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of Amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 21, 428–434.
- Moser, P., Souza, R. T., & Nicoletti, T. V. (2017). Spray drying of grape juice from hybrid CV. BRS Violeta: Microencapsulation of anthocyanins using protein/maltodextrin blends as drying aids. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e12852. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12852>
- Munguía, A., Castillo, J., & Elorza, A. (2014). Determinación De Actividad Antioxidante y Microencapsulación de Compuestos Activos de Opuntia Ficus indica. *Tlatemoani*, 1(6), 1989–9300.
- Naddaf, L., Avalo, B., & Oliveros, M. (2012). Secado por aspersión de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábiga. *Revista Tecnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia*, 35(1), 20–27.
- Queck, S., Chok, N., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46(5), 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>
- Rivas, C. (2010). *Microencapsulación y Estabilización Enzimática del Jugo de Chirimoya (Annona cherimola Mill)*. Doctoral dissertation, Thesis to opt for the title of Mg in Sciences in Bioprocesses. National Polytechnic Institute, UPIBI, Mexico.
- Rocca, P. (2010). *Secado de Alimentos por Métodos Combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Thesis of Master. Buenos Aires.
- Rodríguez, G., González, R., Grajales, A., & Ruiz, M. (2005). Spray-drying of Cactus Pear Juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the Physicochemical Properties of Powder and Reconstituted Product. *Drying Technology*, 23, 955–973. <https://doi.org/10.1080/DRT-200054251>
- Romero, A., Lamuela, R., Andres, C., & de La Torre, M. (2001). Methods for the quantitative extraction of resveratrol and piceid isomers in grape berry skins. Effect of powdery mildew on the stilbene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 210–215. <https://doi.org/10.1021/jf000745o>
- Saenz, C., Tapia, S., Chávez, J., & Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 114(2), 616–622. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.095>
- Sahin, H., Dinçer, C., Torun, M., Topuz, A., & Özdemir, F. (2013). Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. *Food Science and Technology*, 52, 31–38.
- Sanson, F., Mencherini, T., Picerno, P., d'Amore, M., Aquino, R., & Lauro, M. (2011). Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. *Journal of Food Engineering*, 105, 468–476. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.004>
- Tanon, R., Brabet, C., & Hubinger, M. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88, 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>
- Torres, M. (2009). *Deshidratación de Productos Derivados de la Uva y Estudio de su Calidad y Estabilidad*. Doctoral thesis. Universidad de Castilla, La Mancha, Ciudad Real.
- Vergara, F., Guerrero, J., & Salazar, C. (2009). *Evaluación de Agentes Antioxidantes de un Extracto de Flor de Jamaica Microencapsulado*. Puebla, Mexico: University of The Americas.
- Zapata, K., Rojano, B., & Cortes, F. (2015). Efecto Térmico del Secado por Aspersión sobre los Metabolitos Antioxidantes de la Curuba Larga (*Passiflora mollissima* Baley). *Información Tecnológica*, 26(1), 77–84. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000100009>

**How to cite this article:** Alcantara Marte Y, Alcantara Marte Y, Tejada AE, Ros Berrueto G. Effect of different concentrations of pulverized mesocarp of *Citrus paradisi* Macf. on the bromatological characteristics of spray-dried lemon juice powder. *Food Sci Nutr*. 2018;00:1–8. <https://doi.org/10.1002/fsn3.679>

## IV

**III JORNADAS DOCTORALES**  
UNIVERSIDAD DE MURCIA  
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

30-31 de mayo  
1 de junio

**EIDUM**

**III JORNADAS DOCTORALES**  
**UNIVERSIDAD DE MURCIA**  
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**LA UNIVERSIDAD DE MURCIA**

[eventos.um.es/go/jdoctorado3](http://eventos.um.es/go/jdoctorado3)

## Caracterización del Zumo de Limón (*Citrus latifolia* Tanaka) Encapsulado a Diferentes Temperaturas de Entrada, Presiones de Aire de Atomización y Caudales de Alimentación

UNIVERSIDAD DE MURCIA



Y. Alcántara<sup>1</sup>, G. Ros<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad ISA, Santiago de Los Caballeros, República Dominicana, yalcantara@isa.edu.do

<sup>2</sup>Tutor, Departamento de Tecnología de Alimentos, Nutrición y Bromatología, Universidad de Murcia.

### I. Resumen

El limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), al igual que otros cítricos, presenta estacionalidad de producción, reflejándose en variaciones de precios. La corta vida de anaquel del limón ocasiona pérdidas e influye negativamente en el comercio y la confianza del consumidor. El zumo de este fruto posee características nutricionales importantes. Una forma de mantener sus características y disminuir la variación del precio de la fruta, es mediante la conservación mediante secado por aspersión. El objetivo de la presente investigación fue optimizar el proceso y caracterizar el jugo de limón encapsulado en pulverizado de mesocarpio de toronjas (*Citrus paradisi* Macf), a diferentes temperaturas de entrada, presiones de aire de atomización y caudales de alimentación.

### II. Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la planta de procesamiento de alimentos de la Universidad ISA, en Santiago, R.D. Se utilizaron diseños completamente aleatorizados simultáneos, evaluando el efecto de la temperatura de entrada (125, 135 y 145 °C), la presión de atomización (4,00; 4,21 y 4,42 kg/cm<sup>2</sup>) y la alimentación (0,80; 0,85 y 0,90 L/h), sobre el rendimiento, pH, sólidos solubles, ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales y flavonoides totales de zumos de limón encapsulados en mesocarpio de toronja. Se realizó un testigo de Maltodextrina DE-10 para cada caso, totalizando doce tratamientos. El proceso seguido para obtener los zumos encapsulados se muestra en la **Figura 1**. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias (Tukey). Para la representación de los resultados se empleó la media aritmética como medida central  $\pm$  SD de tres repeticiones.



Figura 1. Proceso seguido para preparar las unidades experimentales de la investigación.

### III. Resultados

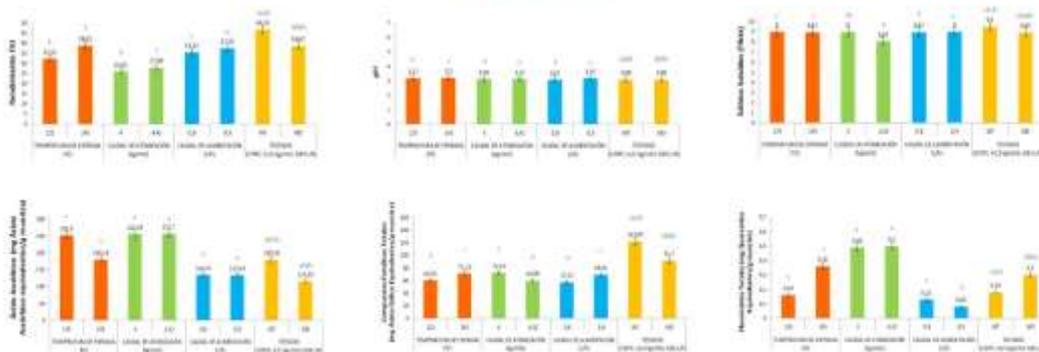


Figura 2. Características del Zumo de Limón Encapsulado en Pulverizado de Mesocarpio de Toronja (*Citrus paradisi* Macf), a Diferentes Temperaturas de Entrada, Presiones de Aire de Atomización y Caudales de Alimentación. Cada barra (i) indica la división de los estudios, es decir, el primer estudio (Temperatura de entrada) corresponde a las letras colocadas antes de la primera barra y así, respectivamente.

### IV. Conclusiones

Las variables de respuesta evaluadas en los zumos de limón encapsulados (rendimiento, pH, sólidos solubles, ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales y flavonoides totales), fueron afectadas por la temperatura de entrada, el caudal de alimentación y de atomización, a excepción de los sólidos solubles en los cuales no influyen las primeras dos variables independientes mencionadas.

Los resultados sugieren que bajo las condiciones de trabajo intermedias estudiadas (135°C; 4,21 kg/cm<sup>2</sup> y 0,85 L), se obtienen los mayores rendimientos.

El zumo de limón encapsulado en pulverizado de mesocarpio de toronja presentó mayor rendimiento, valores iguales de pH y sólidos solubles y mayores contenidos de ácido ascórbico y compuestos fenólicos totales que el zumo encapsulado en maltodextrina DE-10. Sin embargo, este último retuvo el mayor contenido de flavonoides totales.

### V. Referencias

Alcántara, Y., Alcántara, Y. and Escotto, A. (2015); Amadans Rojas, A., Ruiz Samudó, F. (2009); Barbosa, J., Borges, S., Amorim, M., Pereira, M. J., Oliveira, A., Pintado, M. E., & Teixeira, P. (2015); Bhandari, B.R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., Rigby, S. (1997); Chegini, R.G., Ghotadani, B. (2007); Cynthia, S. J., Bosco, J. D., & Bhol, S. (2015).

V



# XVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE NUTRICIÓN (SLAN)

**NUTRICIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

8-12 noviembre 2015 / Punta Cana, República Dominicana  
[www.slan2015.com](http://www.slan2015.com)



## SLAN

Sociedad Latinoamericana de Nutrición



**EFFECTO DEL PULVERIZADO DE MESOCARPIO DE TORONJAS (*Citrus paradisi* Macf) SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y RENDIMIENTO DEL ZUMO DE LIMÓN ENCAPSULADO**



Yanilka Yulisa  
Alcantara Marte<sup>1</sup>,  
Yulisa Yanilka  
Alcantara Marte<sup>1</sup>,  
Andrea  
Erasmilda Escotto  
Tejada<sup>1</sup>, Gaspar  
Francisco Ros  
Berruezo<sup>2</sup>

