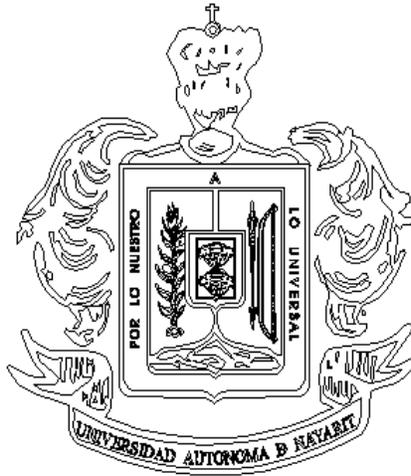


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT**  
**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS**



Efecto de los materiales de pared sobre las características fisicoquímicas y compuestos bioactivos de una salsa para pizza secada por aspersion.

**Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Agrícolas**

**PRESENTA**

**QFB. CARLA FABIOLA ARIAS NAVARRO**

**Xalisco, Nayarit, Junio 2019**



## OFICIO DE APROBACIÓN



### UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/103/19.

Xalisco, Nayarit; 24 de junio de 2019.

**M.C. GLORIA MACHAIN IBARRA**  
**DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**  
**NIVEL SUPERIOR Y POSGRADO**  
**PRESENTE.**

Con base al oficio de fecha 19 de junio del presente, enviado por los CC. Dr. Pedro Ulises Bautista Rosales, Dr. Juan Arturo Ragazzo Sánchez, Dr. José Armando Ulloa, Dra. Monserrat Calderón Santoyo y Dr. Edgar Iván Jiménez Rufz, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza a la **QFB. Carla Fabiola Arias Navarro**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Agrícolas.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
*"Por lo Nuestro a lo Universal"*

  
Dr. Juan Diego García Paredes  
/Coordinador del Posgrado



C.c.p.- Expediente  
&mefm

Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. C.P. 63780. Xalisco, Nayarit. Tels. (311)2-11-01-28 y 2-11-11-63 Posgrado (CBAP) 2-11-24 78.

## OFICIO DE CONFORMIDAD



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE NAYARIT

Xalisco, Nayarit, 19 de junio del 2019.

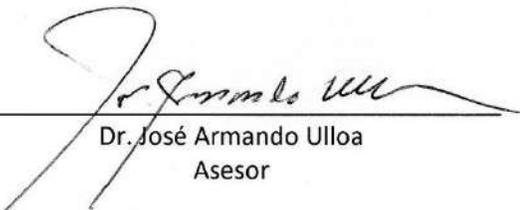
**DR. J. DIEGO GARCÍA PAREDES**  
**COORDINADOR DEL POSGRADO (CBAP)**  
**PRESENTE**

Los suscritos integrantes del Cuerpo Tutorial para asesorar la Tesis titulada: **“Efecto de los materiales de pared sobre las características fisicoquímicas y compuestos bioactivos de una salsa para pizza secada por aspersion”**, que presenta la **C. QFB Carla Fabiola Arias Navarro** para obtener el Grado de Maestra en Ciencias con opción terminal en Ciencias Agrícolas, damos nuestra aprobación para que continúe con los trámites correspondientes para la obtención de su grado.

Sin otro asunto que tratar, reciba un cordial saludo.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Pedro Ulises Bautista Rosales  
Director

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Arturo Ragazzo Sánchez  
Co-Director

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Armando Ulloa  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Montserrat Calderón Santoyo  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Edgar Iván Jiménez Ruiz  
Asesor

## DEDICATORIA

Dedico mi trabajo (tesis) a todas las personas especiales en mi vida:

Este trabajo está dedicado con mucho amor, respeto y admiración A MIS PADRES Adela Navarro Soria y Valeriano Arias Rosales, por el apoyo, confianza, consejos y cada sacrificio que hicieron para que yo pudiera concluir una licenciatura, la cual me permitió realizar esta maestría. Gracias infinitas por todo, por estar siempre conmigo, ¡Los amo!

A MIS HERMANOS, por estar siempre presente en cada momento especial de mi vida.

A MIS SUEGROS, porque desde que se convirtieron en mi familia siempre estuvieron ahí apoyándome, dándome consejos de cómo afrontar cada problema que se me presentaba. Gracias por estar siempre presentes.

A Sara Elena por inyectar en mí esa inquietud de estudiar la maestría. Gracias por invitarme y por el apoyo brindado en estos dos años.

Y por último, pero no menos importante al amor de mi vida, mi esposo. Alejandro, te dedico mi esfuerzo, mis desvelos y todo sacrificio para que esta meta se llevará a cabo. Porque siempre día con día estuviste ahí apoyándome, motivándome, diciéndome que yo podía lograrlo. Gracias amor, por toda la paciencia y tolerancia en los días de estrés. GRACIAS, GRACIAS. ¡TE AMO!.

*“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado, un esfuerzo total es una victoria completa”*

Mahatma Gandhi

## AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero agradecer a Dios, por permitirme culminar esta etapa profesional, una meta importante en mi vida.

Mi especial agradecimiento:

Al Dr. Ulises Bautista Rosales, por la confianza depositada en mí para la realización de este tema de investigación. Por la paciencia, el tiempo, apoyo, sugerencias y observaciones, para que este trabajo se lleve a cabo. Muchísimas gracias por todo.

Al Dr. Juan Arturo Ragazzo Sánchez, por el tiempo requerido, accesibilidad, sugerencias e información proporcionada para el desarrollo de la investigación y redacción de la tesis. Muchas gracias.

A cada uno de mis asesores: Dr. José Armando Ulloa, Dra. Monserrat Calderón Santoyo y Dr. Edgar Iván Jimenez. Gracias por su tiempo, observaciones, comentarios y disposición durante estos dos años.

Un especial agradecimiento a la Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez, por hacer posible que una parte importante de la investigación se lleve a cabo. Gracias.

A cada uno de mis docentes por sus conocimientos transmitidos durante estos dos años.

A la M. en C. Petra Rosas Ulloa por su apoyo, tiempo, disponibilidad, confianza, y amistad, muchas gracias.

A cada uno de mis compañeros de Tecnología de Alimentos por tan gratos momentos.

Gracias a M en C. Sara Elena Hernández Guerrero, M en C. Ma. Del Rosario Pérez Saucedo y M en C. Alejandro Rubio Melgarejo, por esas pláticas tan amenas, por formar un buen equipo. Por estar siempre apoyándome en momentos buenos y malos, porque convertirse en muy buenos amigos para mí. Muchas gracias.

Al Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias por aceptarme y permitir que realizará mis estudios de maestría.

A la Unidad de Tecnología de Alimentos, perteneciente a la Universidad Autónoma de Nayarit, por permitirme desarrollar parte experimental del proyecto durante dos años.

Al Instituto Tecnológico de Tepic, por permitirme desarrollar una parte importante de la investigación en el Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos (LIIA), bajo la supervisión del Dr. Arturo Ragazzo Sánchez.

Al Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología (CENIT 2).

A la Universidad Autónoma de Queretaro, por aceptar que llevará a cabo una estancia dentro de la Unidad Académica de Química, bajo la supervisión de la Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez.

Al proyecto titulado “Desarrollo tecnológico e innovador de una línea de salsas en polvo para pizza y pastas, con alto valor agregado, destinado a comercio internacional” (clave: 233312)

A la empresa Impulsora de Proyectos Productivos SA. de CV.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de manutención (461891) y beca mixta.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>OFICIO DE APROBACIÓN</b>	II
<b>OFICIO DE CONFORMIDAD</b>	III
<b>DEDICATORIA</b>	IV
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	V
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	VII
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	X
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	XII
<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS</b>	XIII
<b>RESUMEN GENERAL</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	3
<b>HIPÓTESIS</b>	6
<b>OBJETIVOS</b>	6

**CAPÍTULO 1.** *Efecto de la adición de los materiales de pared sobre las propiedades fisicoquímicas una salsa para pizza secada por aspersion.*

<b>1.1. RESUMEN</b>	7
<b>1.2. INTRODUCCIÓN</b>	9
<b>1.3. METODOLOGÍA</b>	12
1.3.1. MATERIALES	12
1.3.2. PREPARACIÓN DE LA SALSA	12
1.3.3. SECADO POR ASPERSIÓN	12
1.3.4. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA	13
1.3.4.1. Rendimiento	13
1.3.4.2. Contenido de humedad	14
1.3.4.3. Actividad de agua	14
1.3.4.4. Determinación de color	14
1.3.4.5. Densidad aparente y densidad compactada	15

1.3.4.6.	Índice de compresibilidad de Carr e índice de Hausner	15
1.3.4.7.	Medición de la distribución del tamaño de partícula	16
1.3.4.8.	Morfología de las partículas	17
1.3.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
<b>1.4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>18</b>
1.4.1.	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA	18
1.4.1.1.	Rendimiento de secado	18
1.4.1.2.	Contenido de humedad y actividad de agua	20
1.4.1.3.	Color	22
1.4.1.4.	Propiedades relacionadas con el flujo de los polvos	23
1.4.1.4.1.	Densidad aparente y densidad compactada	25
1.4.1.4.2.	Índice de compresibilidad de Carr e índice de Hausner	26
1.4.1.4.3.	Morfología y distribución del tamaño de partícula	28
<b>1.5.</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>30</b>
<b>1.6.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>31</b>

**CAPÍTULO 2.** *Evaluación del efecto de los materiales de pared sobre los compuestos bioactivos y actividad antioxidante de una salsa para pizza secada por aspersión*

<b>2.1.</b>	<b>RESUMEN</b>	40
<b>2.2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	42
<b>2.3.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	45
2.3.1.	MATERIALES	45
2.3.2.	PREPARACIÓN DE LA SALSA	45
2.3.3.	SECADO POR ASPERSIÓN	45
2.3.4.	DETERMINACIÓN DE FENÓLES SOLUBLES TOTALES	46
2.3.5.	DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	46
2.3.5.1.	Actividad antioxidante por el método DPPH	47
2.3.5.2.	Actividad antioxidante por el método ABTS+	47
2.3.5.3.	Actividad antioxidante por el método de reducción férrica (FRAP)	48

2.3.6. ANÁLISIS METABOLÓMICO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS	48
2.3.6.1. Preparación de la muestra	48
2.3.6.2. Determinación de compuestos bioactivos (UPLS-QTOF-MS)	48
2.3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	49
<b>2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	50
2.4.1. DETERMINACIÓN DE FENÓLES SOLUBLES TOTALES	50
2.4.2. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTES (ABTS+, DPPH y FRAP)	53
2.4.3. ANÁLISIS METABOLÓMICO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y ÁCIDOS ORGÁNICOS	58
2.4.3.1. Análisis estadístico multivariado	72
2.4.3.1.1. Análisis de cuadrados mínimos parciales (PLS-DA)	72
2.4.3.1.2. Comparación jerárquica	75
<b>2.5. CONCLUSIÓN</b>	78
<b>2.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	79
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	90
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> (Introducción general)	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama de Pareto para rendimiento de las salsas en polvo para pizza.	18
<b>Figura 2.</b> Micrografías de las partículas de la salsa para pizza en polvo, <b>(A)</b> T <sub>1</sub> [FNA 2 % GA 12 % MD 12 %], <b>(B)</b> T <sub>9</sub> [FNA 0 % GA 12 % MD 12 %].	29
<b>Figura 3.</b> Diagrama de Pareto para contenido de fenoles solubles totales en las salsas en polvo para pizza	50
<b>Figura 4.</b> Diagrama de Pareto para la actividad antioxidante ABTS+ en las salsas en polvo para pizza.	53
<b>Figura 5.</b> Diagrama de Pareto para la actividad antioxidante DPPH en las salsas en polvo para pizza.	54
<b>Figura 6.</b> Diagrama de Pareto para la actividad antioxidante FRAP en las salsas en polvo para pizza.	56
<b>Figura 7.</b> Gráfico de comparación cualitativa de la presencia de compuestos fenólicos extraíbles presentes en cada tratamiento.	69
<b>Figura 8.</b> Características importantes de los microencapsulados identificadas por el PLS-DA.	72
<b>Figura 9.</b> Mapa de calor de los metabolitos diferenciales	77

identificados entre los nueve tratamientos de salsa en polvo para pizza.

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b> Concentración de los materiales de pared utilizadas en el secado por aspersión.	13
<b>Cuadro 2.</b> Especificación para el índice de compresibilidad de Carr e índice de Hausner.	16
<b>Cuadro 3.</b> Parámetros fisicoquímicos de las salsas en polvo para pizza.	19
<b>Cuadro 4.</b> Propiedades fisicoquímicas relacionadas con el flujo de las microcápsulas de salsas en polvo para pizza.	24
<b>Cuadro 5.</b> Concentración de los materiales de pared utilizadas en el secado por aspersión.	46
<b>Cuadro 6.</b> Contenido de fenoles solubles totales y actividad antioxidante presentes en las salsas en polvo para pizza.	52
<b>Cuadro 7.</b> Perfil metabolómico de compuestos fenólicos extraíbles y ácidos orgánicos presentes en las salsas en polvo para pizza.	59

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

<b>a<sub>w</sub></b>	Actividad de agua	<b>mL</b>	Mililitro
<b>C*</b>	Croma	<b>No.</b>	Número
<b>cm</b>	Centímetro	<b>nm</b>	Nanómetros
<b>DE</b>	Equivalentes de dextrosa	<b>OH</b>	Hidroxilo
<b>et al.</b>	Y otros	<b>p</b>	Peso
<b>EAG</b>	Equivalentes de ácido galico	<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>FA</b>	Fructanos de agave	<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>FNA</b>	Fructanos nativos de agave	<b>PLS-DA</b>	Análisis discriminante de cuadrados mínimos parciales
<b>g</b>	Gramo (s)	<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>GA</b>	Goma arábica	<b>sf</b>	Salsa fresca
<b>g.p.f.</b>	Gramos de peso fresco	<b>T</b>	Tratamiento
<b>h</b>	Hora	<b>V - v</b>	Volumen
<b>H*</b>	Ángulo de tono	<b>XK</b>	Multiplicado por 1000
<b>IC</b>	Índice de compresibilidad de Carr	<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro cubico
<b>IH</b>	Índice de Hausner	<b>μL</b>	Microlitros
<b>kV</b>	Kilovoltio	<b>μm</b>	Micrómetros
<b>L*</b>	Luminosidad	<b>p</b>	Probabilidad
<b>L</b>	Litro	<b>W</b>	Watts
<b>m</b>	Masa	<b>≤</b>	Menor e igual que
<b>MD</b>	Maltodextrina	<b>≥</b>	Mayor e igual que
<b>mm</b>	Milímetro (s)	<b>ρ<sub>d</sub></b>	Densidad aparente
<b>min</b>	Minuto (s)	<b>ρ<sub>b</sub></b>	Densidad compactada
<b>mg</b>	Miligramo (s)	<b>%</b>	Porcentaje
<b>°</b>	Grado	<b>®</b>	Marca registrada
<b>°C</b>	Grado centígrado		

## RESUMEN GENERAL

El secado por aspersión se considera un método eficaz en el que los productos líquidos se convierten en polvo fino. La forma en polvo de un alimento es más estable, llegando a conservarse por mayor tiempo que en su forma natural. Este método requiere de materiales de pared, los cuales facilitan el secado por aspersión evitando que se adhiera las partículas en la cámara de secado. Por ello, el objetivo general del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de fructanos nativos de agave (FNA) combinados con goma arábica (GA) y maltodextrina (MD) como materiales de pared, sobre las características fisicoquímicas y los compuestos bioactivos de una salsa para pizza secada por aspersión. Se utilizó un diseño experimental  $3^2$ , a través de tres concentraciones de fructanos nativos de agave (FNA 0, 2 y 4 % p/v) y tres concentraciones de goma arábica (GA) 12, 10 y 8 % (p/v), con una concentración constante de maltodextrina (MD) de 12 % p/v. Las condiciones de secado por aspersión utilizadas fueron una temperatura de entrada de aire de 130 °C y una velocidad de flujo de alimentación de 6 mL/min. Se evaluó el rendimiento, humedad, actividad de agua, color, fluidez, tamaño y morfología de partícula, compuestos fenólicos solubles totales, actividad antioxidante (ABTS+, DPPH y FRAP), así como la cantidad y abundancia de compuestos bioactivos. El rendimiento de secado varió de 42.14 a 56.53 %. Los mejores tratamientos fueron T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, y T<sub>6</sub> ( $p \leq 0.05$ ) en el rendimiento de secado. Siendo el microencapsulado T<sub>1</sub> (2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) el que presentó mayor porcentaje de rendimiento ( $56.53 \pm 3.62$  %), seguido del microencapsulado T<sub>2</sub> (4 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) con  $53.57 \pm 1.47$  %. La humedad contenida en los polvos de salsa para pizza oscilaron de 3.68 a 4.47 %. La combinación correspondiente a T<sub>1</sub> obtuvo menor porcentaje de humedad ( $3.68 \pm 0.19$  %), sin embargo, no presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos a excepción de T<sub>9</sub> ( $4.47 \pm 0.34$  %). La actividad de agua ( $a_w$ ) varió de 0.1010 a 0.1406. El tratamiento con menor valor de  $a_w$  fue T<sub>8</sub> (4 % FNA, 8 % GA y 12 % MD) con 0.1010, no presentando diferencias significativas con T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub>. Los microencapsulados T<sub>2</sub> (4 % FNA, 12 % GA, 12 % MD) y T<sub>7</sub> (4 % FNA, 10 % GA y 12 % MD) obtuvieron mejor fluidez.

Los tratamientos que contenían FNA en su formulación presentaron un aumento en la luminosidad ( $L^*$ ). La microscopía electrónica de barrido reveló que los tratamientos que utilizaban FNA-GA-MD presentaron partículas esféricas, con cierta subsidencia y desalineaciones. Además, las partículas mostraron un tamaño mayor en relación con los encapsulados solamente con GA-MD. El microencapsulado T<sub>1</sub> presentó mayor contenido de fenoles solubles con 257.25 mg EAG/100 g.s.p., seguido de T<sub>2</sub> con 234.75 mg EAG/100 g.s.p. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos fueron estadísticamente iguales ( $p > 0.05$ ) entre ellos. El contenido de fenoles solubles totales, la actividad antioxidante en los ensayos ABTS+ y FRAP mostraron una relación positiva con respecto a T<sub>1</sub>. El tratamiento T<sub>1</sub> presentó mayor contenido de actividad antioxidante en las determinaciones ABTS+ y FRAP, pero no así en el ensayo DPPH. Por medio del análisis metabólico se obtuvo un listado de 101 compuestos bioactivos, siendo la familia de los ácidos fenólicos la de mayor abundancia en todos los microencapsulados. La interacción de los materiales de pared FNA-GA-MD, aunada con una alta concentración de GA mejoran las características fisicoquímicas, incrementando el rendimiento y tamaño de partícula en comparación a los tratamientos encapsulados solamente con GA-MD. Además, la interacción de los tres materiales favoreció un mayor rendimiento y la disminución del contenido de humedad y  $a_w$ , así como como el índice de Carr e índice de Hausner, mejorando la fluidez. De igual manera, los tratamientos que presentan mayor concentración de GA (12 %) en interacción con los FNA presentaron mayor contenido de fenoles solubles totales, así como una mayor cantidad y abundancia de compuestos bioactivos. Destacando el tratamiento con 2 % de FNA, 12 % de GA y 12 % de MD (T<sub>1</sub>). No hubo un efecto estadísticamente significativo de los materiales de pared en la actividad antioxidante ABTS+ y DPPH. La concentración de GA y la interacción cuadrática de FNA favoreció una mayor actividad antioxidante FRAP.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En los últimos años, el tamaño del mercado mundial de salsas, aderezos y condimentos ha ido en aumento, existiendo expectativas empresariales de que continúe creciendo (KHIDI, 2014; Kim *et al.*, 2018). Esto se relaciona a la urbanización y a los cambios en los hábitos alimenticios y de consumo (Ghezan, 2000).

Las salsas son elaboradas por una mezcla de diversos insumos y se pueden aplicar a todo tipo de alimentos (Nachay, 2011), sirviendo para humedecer, enmascarar, contrastar y proporcionar sabor (Millán-Cardona *et al.*, 2010). Kim *et al.* (2018) mencionan que existen alimentos que siempre irán acompañados con salsa (s), ya sea por cultura o porque su sabor se percibe mejor.

Tal es el caso de las pizzas elaboradas a partir de una salsa preparada a base de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e ingredientes europeos como albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y orégano (*Origanum vulgare* L.) (Lagóstena-Barrios, 2001). Convirtiendo a la salsa en una parte característica de la pizza (Burg, 1998). Las pizzas son un alimento consumido desde tiempos remotos. Con el paso del tiempo este alimento ha ido cambiando gracias a su gran versatilidad de ingredientes, es por eso que este alimento es uno de los más consumidos a nivel mundial (Cruz-López, 2015).

Los productos a base de tomate pueden llegar a ser benéficos para la salud humana, por la presencia de magnesio, fósforo, calcio y potasio, además de vitamina C (ácido ascórbico), vitamina A y vitamina E. También proporcionan fitoquímicos bioactivos (Motilva *et al.*, 2014) con actividad antioxidante, por ejemplo, carotenoides (licopeno,  $\beta$ -caroteno y luteína), tocoferoles y flavonoides (Perveen *et al.*, 2015; Saini *et al.*, 2015; Figueroa *et al.*, 2017).

No obstante, el alto contenido de agua que presenta el tomate (mayor a 90 %) lo hace un fruto bastante perecedero y, por consiguiente, este desafío también lo

enfrentan los productos elaborados a base de esta hortaliza (Shishir y Chen, 2017). Es por ello que surge la imperiosa necesidad de buscar alternativas con el apoyo de tecnologías para tratar de prolongar la vida útil del producto (Akdeniz *et al.*, 2012).

Una tecnología frecuentemente utilizada en la industria alimentaria es la deshidratación (Akdeniz *et al.*, 2012). Una técnica de deshidratación económica, rápida, eficiente, que mantiene la calidad del alimento y prolonga la vida de anaquel es el secado por aspersión o pulverización (Janiszewska, 2014; Gonçalves *et al.*, 2015; Janiszewska-Turak, 2017).

El secado por aspersión es una operación unitaria en la que el producto líquido es atomizado por una corriente de aire caliente en forma de finas gotas, lo que conduce a la producción de partículas de polvo de forma regular y esférica (Fazaeli *et al.*, 2012; Turchiuli *et al.*, 2011). Este método resulta adecuado para compuestos sensibles a altas temperaturas, ya que proporciona buena estabilidad al producto final (Figuerola *et al.*, 2016).

Sin embargo, pueden existir inconvenientes en el proceso de secado por aspersión, como el uso de aditivos inadecuados que adsorben agua y la incorporan al alimento, obteniendo productos higroscópicos, pegajosos, inestables, de difícil manejo y manipulación (Cortes *et al.*, 2012). Lo anterior ocasiona la adherencia de las partículas a la pared de la cámara de secado, esto sucede comúnmente con líquidos alimenticios que contienen azúcares (jugos de frutas y productos de tomate). Por lo que, las condiciones de secado (temperatura de entrada y salida, flujo y presión) y la naturaleza del material secado, son los factores principales a controlar para reducir este problema (Bhandari *et al.*, 1997a; Bhandari *et al.*, 1997b).

Los materiales que se adicionan al alimento a secar son conocidos como materiales de pared, los cuales facilitan el secado por aspersión, evitando la adherencia de las partículas a la pared del secador (Vila *et al.*, 2015). Dentro de los materiales de pared más utilizados se encuentran la maltodextrina (MD) y la goma arábica (GA) debido a su alta solubilidad y baja viscosidad, que son condiciones importantes para el

proceso de secado por aspersión (Goula y Adamopoulos, 2012; Burcin-Himmetagaoglu *et al.*, 2018).

En los últimos años, han surgido investigaciones sobre la aplicación de fructanos de agave como una alternativa saludable en los alimentos debido a sus beneficios como prebiótico natural, fibra dietética soluble y por sus funciones tecnológicas como estabilizante, edulcorante, sustituto de grasa o gelificantes, entre otros (Espinosa-Andrews y Urías-Silvas, 2012). Además, funcionan como acarreadores de sólidos, protectores térmicos y encapsulantes (Espinosa-Andrews y Urías-Silvas, 2012; Jiménez-Sánchez *et al.*, 2018a; Jiménez-Sánchez *et al.*, 2018b), por ello se han considerado como un material de pared al deshidratar alimentos por aspersión.

Los fructanos constituyen los principales carbohidratos de reserva en algunas familias del reino vegetal (Montañez *et al.*, 2011), son polímeros compuestos por unidades de fructosa y una unidad de glucosa terminal unidas por enlaces  $\beta$ - (2 $\rightarrow$ 1) y  $\beta$ - (2 $\rightarrow$ 6) (Reberfroid y Delzenne, 1998; Jiménez-Sánchez *et al.*, 2018b). Por mencionar algunos estudios donde se han utilizado los fructanos nativos de agave (FNA) se encuentran el de Ortiz-Basurto *et al.* (2017), Jiménez-Sánchez *et al.* (2017 y 2018a) y Ramos-Hernández *et al.* (2018).

Por todo lo anterior, en la presente investigación se decidió utilizar FNA como material de pared en combinación con GA y MD, para microencapsular por aspersión una salsa para pizza. Con base a esto, el objetivo general de la investigación fue evaluar el efecto de la adición de fructanos nativos de agave combinados con goma arábica y maltodextrina como materiales de pared, sobre las características fisicoquímicas y los compuestos bioactivos de una salsa para pizza secada por aspersión.

## **HIPÓTESIS**

Los fructanos nativos de agave (FNA) combinados con goma arábica (GA) y maltodextrina (MD) favorecerán el secado por aspersión de una salsa para pizza, propocionando mayor rendimiento, menor humedad y actividad de agua, conservación de color, buenas propiedades de flujo y protección de los compuestos bioactivos después del secado.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la adición de fructanos nativos de agave combinados con goma arábica y maltodextrina como materiales de pared, sobre las características fisicoquímicas y los compuestos bioactivos de una salsa para pizza secada por aspersión.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar el efecto de los materiales de pared sobre las propiedades fisicoquímicas de una salsa para pizza secada por aspersión.
- Evaluar el efecto de los materiales de pared sobre la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles solubles totales presentes en una salsa para pizza secada por aspersión.
- Evaluar el efecto de los materiales de pared sobre los compuestos bioactivos de una salsa para pizza secada por aspersión.

## CAPITULO I.

### EFFECTO DE LA ADICIÓN DE LOS MATERIALES DE PARED SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE UNA SALSA PARA PIZZA SECADA POR ASPERSIÓN

#### 1.1. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto combinado de tres materiales de pared sobre las propiedades fisicoquímicas de una salsa para pizza secada por aspersión, mediante un diseño experimental  $3^2$ . A través de tres concentraciones de fructanos nativos de agave (FNA 0, 2 y 4 % p/v) y tres concentraciones de goma arábica (GA) 12, 10 y 8 % (p/v), con una concentración constante de maltodextrina (MD) de 12 % p/v. Las condiciones de secado por aspersión utilizadas fueron una temperatura de entrada de aire de 130 °C y una velocidad de flujo de alimentación de 6 mL/min. Se evaluó el rendimiento, humedad, actividad de agua ( $a_w$ ), fluidez, color, tamaño y morfología de partícula. El rendimiento de secado varió de 42.14 a 56.53 %. Los mejores tratamientos fueron T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>6</sub> ( $p \leq 0.05$ ) en el rendimiento de secado. Siendo el microencapsulado T<sub>1</sub> (2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) en el que presentó mayor porcentaje de rendimiento ( $56.53 \pm 3.62$  %), seguido del microencapsulado T<sub>2</sub> (4 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) con  $53.57 \pm 1.47$  %. La humedad contenida en los microencapsulados fue de 3.68 a 4.47 %. La combinación correspondiente a T<sub>1</sub> obtuvo menor porcentaje de humedad ( $3.68 \pm 0.19$  %), sin embargo, no presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos a excepción del T<sub>9</sub> ( $4.47 \pm 0.34$  %). La  $a_w$  osciló de 0.1010 a 0.1406. El tratamiento con menor valor de  $a_w$  fue T<sub>8</sub> (4 % FNA, 8 % GA y 12 % MD) con 0.1010, no presentó diferencias significativas con T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub> y T<sub>7</sub>. Los microencapsulados T<sub>2</sub> (4 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) y T<sub>7</sub> (4 % FNA, 10 % GA y 12 % MD) obtuvieron mejor fluidez. Los tratamientos que contenían FNA en su formulación presentaron un aumento en la luminosidad ( $L^*$ ). La microscopía electrónica de barrido reveló que los tratamientos que utilizaban MD-GA-FNA presentaron partículas esféricas, con cierta

subsistencia y desalineaciones. Además, las partículas mostraron un tamaño mayor en relación con las encapsuladas con MD-GA. La interacción de los materiales de pared FNA-GA-MD, aunada con una alta concentración de GA, mejoraron las características fisicoquímicas, incrementando el rendimiento y tamaño de partícula en comparación a los tratamientos encapsulados con GA-MD. Además, la combinación de los tres materiales de pared disminuyó el contenido de humedad,  $a_w$ , así como el índice de Carr e índice de Hausner, mejorando la fluidez. Los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>3</sub> presentaron de manera general mejores características fisicoquímicas (rendimiento, humedad,  $a_w$ ) y con fluidez pasable.

## 1.2. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos hortícolas más importantes del mundo (Figuerola *et al.*, 2017), colocándose en el segundo lugar después de la papa (FAO Stat, 2015; Bertin y Génard, 2018). Esta hortaliza es ampliamente consumida de manera fresca o como producto procesado en forma de pasta, sopa, jugo, polvo, salsa, concentrado, entre otros (Figuerola *et al.*, 2017; Navarro-González *et al.*, 2011; Bergougnoux, 2014). Adicionalmente, es utilizada como insumo en alimentos preparados, ya sea en pizza, pasta, refrigerios o en una amplia variedad de platos, lo que hace que su consumo crezca continuamente (Stewart *et al.*, 2000).

Los productos a base de tomate pueden llegar a ser benéficos para la salud humana (Ikram *et al.*, 2009) por la presencia de nutrientes esenciales y fitoquímicos bioactivos con actividad antioxidante (Motilva *et al.*, 2014), atribuida a los carotenoides (licopeno,  $\beta$ -caroteno y luteína), tocoferoles, flavonoides, ácido ascórbico, vitamina E, ácido fólico, calcio, magnesio, fósforo y potasio (Perveen *et al.*, 2015; Saini *et al.*, 2015; Figuerola *et al.*, 2017).

Sin embargo, los productos a base de tomate como las salsas poseen un alto contenido de humedad, presentando entre otras desventajas la susceptibilidad a la contaminación por microorganismos. Para evitar dicha contaminación, se buscan métodos para mejorar su conservación, siendo la deshidratación una tecnología frecuentemente utilizada en la industria alimentaria (Akdeniz *et al.*, 2012; Heredia *et al.*, 2007). Una técnica de deshidratación económica, rápida, eficiente, que mantiene la calidad del alimento y prolonga la vida de anaquel, es el secado por aspersion (Truong *et al.*, 2005; Janiszewska, 2014; Gonçalves *et al.*, 2015; Janiszewska-Turak, 2017).

El secado por aspersion es la técnica más común para encapsular alimentos. Esta técnica tiene la capacidad de manejar materiales sensibles al calor, posibilidad de

producción continua y escalamiento industrial (Goula y Adamopoulos, 2012; Álvarez-Henao *et al.*, 2018; Kaushik *et al.*, 2015; Peanparkdee *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2018). Para una mayor eficiencia de secado, es necesario el uso de materiales de apoyo o también conocidos como materiales de pared, los cuales mejoran las propiedades térmicas para el secado del alimento, evitando así la adherencia de las partículas a la pared del secador (Vila *et al.*, 2015).

Hoy en día, se utilizan muchos materiales de pared como polisacáridos (goma arábica, almidones modificados, maltodextrinas, pectinas) y proteínas (gelatina, caseína, leche o proteína de soja) (Vila *et al.*, 2015; Lim y Roos, 2016), siendo la maltodextrina (MD) y la goma arábica (GA) materiales ampliamente utilizados para microencapsular (Goula y Adamopoulos, 2012; Tonon *et al.*, 2009; Burcin-Himmetagaoglu *et al.*, 2018).

La MD es un polisacárido obtenido de la hidrólisis parcial del almidón y considerado el material de pared más común (Goula y Adamopoulos, 2012), cuyas propiedades dependen del grado de hidrólisis (Kandansamy y Somasundaram, 2012; Tuyen *et al.*, 2010, Kha *et al.*, 2010). Además, la MD ofrece numerosas ventajas como bajo costo, aroma neutro, sabor suave, alta solubilidad en agua (75%), baja viscosidad y protección contra la oxidación. Sin embargo, este material tiene una baja capacidad emulsionante (Dordevic *et al.*, 2014; Goula y Adamopoulos, 2012; Krishnaiah *et al.*, 2015), así como limitada retención de compuestos activos (Kandansamy y Somasundaram, 2012; Tuyen *et al.*, 2010, Kha *et al.*, 2010).

La GA es un polisacárido extraído del árbol de acacia, cuya estructura es altamente ramificada (Sarika *et al.*, 2014). Este polisacárido es considerado un material de bajo costo, no tóxico, biocompatible, biodegradable, con propiedad emulsionante, espesante y estabilizante. Además, es formadora de película, con baja viscosidad, alta permeabilidad y solubilidad en agua (Guadarrama-Lezama *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2018; Kuck y Zapata, 2016; Özkan y Ersus, 2014; Tonon *et al.*, 2011; Sarika *et al.*, 2014). Cuando la MD y la GA se combinan se logran excelentes resultados (Kandansamy y Somasundaram, 2012; Özkan y Ersus, 2014).

En los últimos años, se han implementado los fructanos nativos de agave (FNA) como materiales de pared, los cuales son una mezcla de polisacáridos de bajo, medio y alto grado de polimerización, a base de fructosa con un residuo de glucosa derivado de sacarosa (Ortiz-Basurto *et al.*, 2017; Van den Ende, 2011). Los fructanos son solubles en agua, no digeribles y fermentables, con efectos metabólicos (Urías-Silvas *et al.*, 2008), por lo que son considerados como prebióticos importantes en la industria de alimentos (Mueller *et al.*, 2016).

Dentro de las aplicaciones más recientes de los fructanos de agave (FA) como material de pared se encuentran las de Jiménez-Sánchez *et al.* (2017, 2018a, 2018b), al utilizar FNA para microencapsular jugo de piña, chayote y mango; Ortiz-Basurto *et al.* (2017) utilizaron FA en diferentes grados de polimerización para microencapsular jugo de *Eugenia uniflora* L. Recientemente, Ramos-Hernández *et al.* (2018) han reportado el uso FA de alto grado de polimerización para encapsular  $\beta$ -caroteno para evaluar la viabilidad de los FA como material de pared utilizando la técnica de electropulverización.

Por todo lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la combinación de los tres materiales de pared FNA-GA-MD sobre las propiedades fisicoquímicas de una salsa para pizza secada por aspersion.

## **1.3. METODOLOGÍA**

### **1.3.1. MATERIALES**

Los materiales utilizados para la elaboración de la salsa se obtuvieron del mercado Nayarabastos, ubicado en la ciudad de Tepic, Nayarit, México. Los tomates utilizados provenían de la región occidente de México, estos se seleccionaron en madurez de consumo. El orégano y la albahaca se adquirieron de forma fresca y el aceite utilizado fue de oliva extravirgen (Carbonell®, España). Los agentes encapsulantes utilizados fueron MD (DE 10) (IMSA®, Guadalajara, México), GA (Mi Granero Ingredientes Selectos, Puebla, México) y FNA (proporcionados por Miele Campos Azules SA. de CV.).

### **1.3.2. PREPARACIÓN DE LA SALSA**

La salsa se preparó a base de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), albahaca (*Ocimum basilicum* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.), aceite de oliva extravirgen y sal, la formulación es secreto industrial de la empresa Impulsora de Proyectos Productivos SA. de CV. Los tres primeros ingredientes se lavaron y desinfectaron, en el caso de los tomates con una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm (0.02 %) por 2 min y las hierbas aromáticas con Microdyn® a 350 mg/L por 5 min. Posteriormente, los tomates fueron sometidos a cocción por 15 min a  $75 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . La homogeneización de los ingredientes se llevó a cabo en un procesador de alimentos de uso doméstico marca NUTRiBULLET® (modelo NB-201, China) a 900 W, 25,000 rpm, por 3 min. La salsa se filtró utilizando un tamiz No. 50 para retirar los residuos de semillas y/o cáscara. Se procesaron 600 mL de salsa por tratamiento.

### **1.3.3. SECADO POR ASPERSIÓN**

Se usó un mini secador por aspersion B290 BÜCHI (Büchi 100 Laboratory Equipment, Flawil, Switzerland), con temperatura de entrada de  $130^{\circ}\text{C}$  y flujo de alimentación de 6 mL/min (para todos los tratamientos). Se aplicaron mezclas de tres materiales de pared (Cuadro 1). La concentración en porcentaje de sólidos se calculó con respecto al volumen total de la salsa. El efecto de los materiales de pared se

evaluó con base a las propiedades fisicoquímicas, morfología y tamaño de las partículas de los polvos obtenidos.

**Cuadro 1.** Concentración de los materiales de pared utilizados en el secado por aspersión.

Material de pared (% p/v)	Tratamientos (T) %								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<b>MD</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>GA</b>	12	12	10	8	10	8	10	8	12
<b>FNA</b>	2	4	0	2	2	0	4	4	0
<b>Total de sólidos adicionados a la salsa</b>	26	28	22	22	24	20	26	24	24

**MD** = Maltodextrina **GA** = Goma arábica **FNA**= Fructanos nativos de agave

### 1.3.4. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS POLVOS

#### 1.3.4.1. Rendimiento

El rendimiento de secado por aspersión se evaluó obteniendo primeramente el rendimiento teórico (Ecuación 1), posteriormente se relacionó el rendimiento teórico y el rendimiento real, obteniendo así el rendimiento práctico (Ecuación 2).

$$R_T = [(M_{SH} \times SST) + H] \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

**Donde:**

$R_T$  = Rendimiento teórico

$M_{SH}$  = Masa de la salsa homogénea (g)

$SST$  = °Bx en %

$H$  = Humedad

$$R_P = R_R / R_T \quad \text{Ecuación 2}$$

**Donde:**

$R_P$  = Rendimiento práctico (%)

$R_R$  = Rendimiento real (peso del polvo obtenido)

$R_T$  = Rendimiento teórico

#### 1.3.4.2. Contenido de humedad

El contenido de humedad se determinó por el método de la termobalanza (Nollet y Toldrá, 2015). Se usó un analizador de humedad marca ADAM Equipment (modelo PMB 53, USA) a una temperatura de 105 °C representando el peso como porcentaje (%).

#### 1.3.4.3. Actividad de agua ( $a_w$ )

La actividad de agua se determinó colocando aproximadamente 5 g de muestra en un higrómetro con principio de punto de rocío marca AquaLab 4TEV (modelo Decagon Devices, USA).

#### 1.3.4.4. Determinación de color

Los polvos obtenidos se vertieron en cajas Petri, se agitaron ligeramente hasta lograr una capa uniforme en toda la caja de aproximadamente 10 mm de espesor. Los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) se determinaron utilizando un colorímetro Konica Minolta CR-400 (modelo Minolta Co., Osaka, Japón). Los valores de las mediciones se expresaron de acuerdo a la escala del espacio de color CIELab;  $L^*$  (luminosidad, donde  $L^* = 0$  indica negro y  $L^* = 100$  indica blanco),  $a^*$  (donde valores negativos indican verde y valores positivos indican rojo) y  $b^*$  (donde valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo). El equipo fue calibrado usando una placa blanca provista por el fabricante. Los valores del croma ( $C^*$ ) y de tono o matiz *Hue* ( $H^*$ ,  $0^\circ =$  rojo puro,  $90^\circ =$  amarillo puro) se obtuvieron con la Ecuación (3) y (4).

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$H^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad \text{Ecuación 4}$$

#### 1.3.4.5. Densidad aparente ( $\rho_d$ ) y densidad compactada ( $\rho_b$ )

Para determinar la densidad aparente ( $\rho_d$ ), se colocaron 20 g de polvo en una probeta de vidrio graduada de 100 mL. La densidad aparente se calculó dividiendo la masa del polvo entre el volumen ocupado en la probeta ( $\text{g/cm}^3$ ) (Jinapong *et al.*, 2008).

La densidad compactada ( $\rho_b$ ) se determinó utilizando el polvo de la prueba anterior, sin retirarlo de la probeta. Posteriormente, cubriendo la boca de la probeta se levantó a una altura de  $10 \pm 5$  cm soltándolo por su propio peso, hasta que se observó una diferencia insignificante en el volumen entre mediciones sucesivas. Dada la masa y volumen aparente (compactado) del polvo, la  $\rho_b$  del polvo se calculó como  $m/V$  y se expresó en  $\text{g/cm}^3$  (Goula y Adamopoulos, 2008).

#### 1.3.4.6. Índice de compresibilidad de Carr (IC) e índice de Hausner (IH)

A partir de la  $\rho_d$  y  $\rho_b$  se calculó el índice de compresibilidad de Carr (IC) e índice de Hausner (IH) para analizar la fluidez de las salsas en polvo para pizza, de acuerdo a la ecuación (5) (Huang *et al.*, 2019) y la ecuación (6) (Hausner, 1967).

$$IC = \left[ \frac{(\rho_b - \rho_o)}{\rho_b} \right] * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$IH = \rho_b / \rho_o \quad \text{Ecuación 6}$$

**Donde:**

$\rho_b$  = Densidad compactada

$\rho_o$  = Densidad aparente sin asentar

El diagrama de fluidez (Cuadro 2) clasifica los valores del índice de compresibilidad de Carr (IC) e índice de Hausner (IH) en términos de la propiedad de flujo que indica la calidad del polvo.

**Cuadro 2.** Especificación para el índice de compresibilidad Carr e índice de Hausner

<b>Fluidez</b>	<b>IC (%)</b>	<b>IH</b>
Excelente	0-10	1.00-1.11
Buena	11-15	1.12-1.18
Justa	16-20	1.19-1.25
Pasable	21-25	1.26-1.34
Pobre	26-31	1.35-1.45
Muy pobre	32-37	1.46-1.59
Extremadamente pobre	>38	>1.60

Lebrun *et al.*, 2012

IC, Índice de compresibilidad de Carr

IH, Índice de Hausner

#### **1.3.4.7. Medición de la distribución del tamaño de partícula**

La distribución del tamaño de partícula se analizó utilizando un instrumento de difracción de luz láser Mastersizer 3000 (modelo Aero, Malvern Instruments, Malvern, RU). Se colocó una pequeña cantidad de muestra, controlando la distribución del tamaño de partícula durante cada medición hasta que las lecturas sucesivas fueron consistentes. La distribución del tamaño de las partículas en el polvo se calculó con la Ecuación 7, de la siguiente manera:

$$Span = \frac{(D_{90} - D_{10})}{D_{50}} \quad \text{Ecuación 7}$$

**Donde:**

$d_{90}$ ,  $d_{50}$  y  $d_{10}$  = Diámetros de volumen al 90 %, 50 % y 10 % del volumen acumulado de las partículas, respectivamente (Jinapong *et al.*, 2008).

#### **1.3.4.8. Morfología de las partículas**

Se utilizó un microscopio electrónico de barrido (SEM) para observar la morfología de las microcápsulas (Modelo mini SEM 3200 M, marca SEC, Korea). El polvo (2 a 3 mg) se fijó sobre cinta adhesiva doble cara de carbono, colocada en un portaobjetos de metal. Posteriormente, se aplicó un revestimiento metálico de oro. El voltaje utilizado fue de 20 kV (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2017). Las imágenes capturadas se tomaron con una magnificación de 2.5 KX.

#### **1.3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Todos los análisis se realizaron por triplicado, a excepción del color (6 mediciones por muestra). Los resultados obtenidos de los nueve diferentes tratamientos se analizaron por medio de un diseño factorial  $3^2$ , derivados de tres concentraciones diferentes (GA = 12, 10 y 8 % y FNA = 4, 2, 0 %) y dos materiales de pared (GA y FNA). Los resultados se evaluaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y la diferencia entre medias se realizó con la prueba LSD con  $p \leq 0.05$  de nivel de significancia, utilizando el Software estadístico Statgraphics® Centurion XV.II.

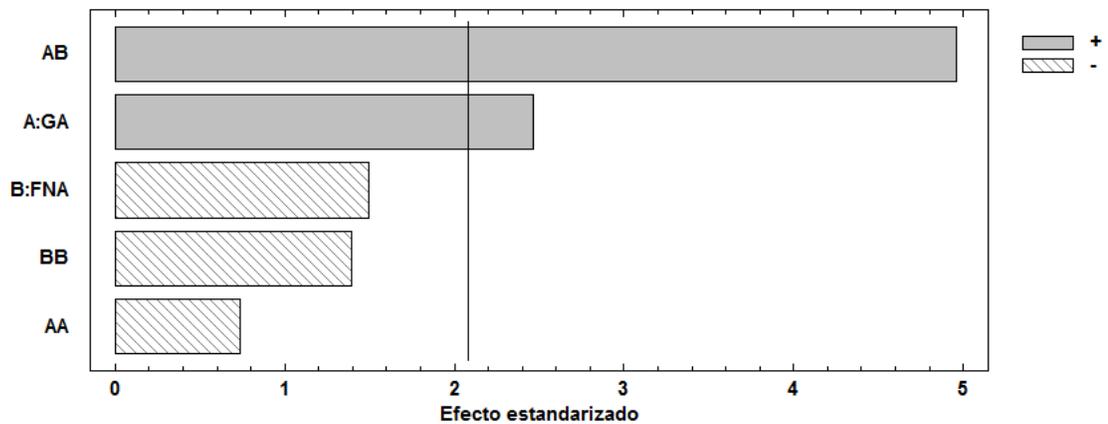
## 1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica de las salsas en polvo para pizza se muestran en el Cuadro 3.

#### 1.4.1.1. Rendimiento de secado

El rendimiento es un indicador importante para la industria, ya que un mayor valor de este parámetro significa mayores beneficios (Tontul y Topuz, 2017). En la Figura 1 se muestra un diagrama de Pareto para rendimiento, donde se observa que las variables estadísticamente significativas y directamente proporcionales fueron la concentración de GA y la interacción de GA con los FNA, presentando mayor significancia la interacción entre los dos materiales de pared.



**Figura 1.** Diagrama de Pareto para rendimiento de las salsas en polvo para pizza.

Los resultados respecto a rendimiento (Cuadro 3) muestran que los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>6</sub> de salsa en polvo para pizza no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), siendo los de mayor porcentaje de rendimiento de secado. Por su parte, el tratamiento T<sub>8</sub> (4 % FNA, 8 % GA y 12 % MD) y T<sub>9</sub> (0 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) presentaron menor rendimiento ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 3.** Parámetros fisicoquímicos de la salsa en polvo para pizza.

Tratamiento	Rendimiento (%)	Humedad (%)	Valores de color					
			aw	L*	a*	b*	C*	H*
<b>1</b> (12% MD, 12%GA, 2% FNA)	56.53 ± 3.62 a	3.68 ± 0.19 a	0.1379 ± 0.04 ab	81.64 ± 1.04 ab	7.48 ± 0.45 abc	19.87 ± 0.35 bcd	21.35 ± 0.60 abc	69.40 ± 0.82 bcd
<b>2</b> (12% MD, 12% GA, 4% FNA)	53.57 ± 1.47 ab	4.21 ± 0.86 ab	0.1397 ± 0.02 a	82.93 ± 0.23 a	6.61 ± 0.11 de	19.57 ± 0.19 cde	20.66 ± 0.15 bcd	71.33 ± 0.44 a
<b>3</b> (12% MD, 10% GA, 0% FNA)	52.85 ± 2.39 abc	4.27 ± 0.57 ab	0.1370 ± 0.02 ab	80.99 ± 2.14 b	7.82 ± 1.24 ab	20.47 ± 0.34 ab	21.94 ± 0.33 a	69.12 ± 3.24 cd
<b>4</b> (12% MD, 8% GA, 2%FNA)	48.16 ± 0.42 cd	3.91 ± 0.06 ab	0.1406 ± 0.02 a	81.61 ± 0.54 ab	7.26 ± 0.33 abcd	20.79 ± 0.27 a	22.02 ± 0.16 a	70.74 ± 1.02 abc
<b>5</b> (12% MD, 10% GA, 2% FNA)	50.42 ± 4.26 bcd	4.02 ± 0.07 ab	0.1364 ± 0.02 ab	81.64 ± 0.55 ab	7.05 ± 0.42 bcd	20.23 ± 0.34 abc	21.42 ± 0.43 ab	70.80 ± 0.89 abc
<b>6</b> (12% MD, 8% GA, 0% FNA)	54.02 ± 4.09 ab	4.30 ± 0.19 ab	0.1291 ± 0.00 ab	81.26 ± 0.70 b	7.01 ± 0.34 cde	20.32 ± 0.98 ab	21.50 ± 0.95 ab	70.93 ± 1.10 ab
<b>7</b> (12% MD, 10% GA, 4% FNA)	50.02 ± 0.21 bcd	4.03 ± 0.23 ab	0.1202 ± 0.02 ab	83.06 ± 1.00 a	6.24 ± 0.34 e	19.55 ± 0.71 cde	20.52 ± 0.74 cd	72.31 ± 0.73 a
<b>8</b> (12% MD, 8% GA, 4% FNA)	42.14 ± 1.70 e	4.20 ± 0.17 ab	0.1010 ± 0.01 b	82.14 ± 1.85 ab	7.18 ± 1.01 abcd	19.07 ± 0.51 e	20.39 ± 0.82 d	69.44 ± 2.18 bcd
<b>9</b> (12% MD, 12% GA, 0% FNA)	46.03 ± 5.15 de	4.47 ± 0.34 b	0.1397 ± 0.03 a	80.90 ± 1.73 b	7.91 ± 0.93 a	19.29 ± 1.21 de	20.85 ± 1.42 bcd	67.74 ± 1.46 d
Letras iguales	en la	misma	columna,	no	existe	diferencia	significativa	(LSD, $p \leq 0.05$ ).

Los tratamientos con MD-GA-FNA presentaron un mayor rendimiento con 2 % de FNA, al incrementar la concentración de GA de 8 % hasta 12 %. Por otro lado, los tratamientos únicamente encapsulados con MD-GA se comportaron inversamente, es decir, al disminuir la concentración de GA (12 % a 8 %), el rendimiento aumentó. Jiménez-Sánchez *et al.* (2018a) reportaron que los FNA al microencapsular jugo de piña y mango funcionan como agentes transportadores, aún en la concentración mínima evaluada en su estudio (2 %), asegurando un mayor rendimiento en comparación con el uso de otros vehículos como la maltodextrina, proteína y goma arábica en altas concentraciones.

Fernandes *et al.* (2008), mencionan que los fructanos y la GA tienen propiedades emulsificantes. Esta propiedad presente en los FNA y GA pudo haber favorecido la encapsulación del aceite de oliva extravirgen presente en la salsa para pizza.

De acuerdo a la revisión de Tontul y Topuz (2017) un secado por aspersion exitoso debe tener un rendimiento del producto superior al 50 % (Bhandari *et al.*, 1997a), tal como se consiguió en la mayoría de los tratamientos en este estudio.

#### **1.4.1.2. Contenido de humedad y actividad de agua ( $a_w$ )**

El contenido de humedad de las microcápsulas de salsa para pizzas varió entre 3.68 a 4.47 % (Cuadro 3). La mayoría de los tratamientos de salsa en polvo para pizzas no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el contenido de humedad, con excepción del microencapsulado T<sub>1</sub> con T<sub>9</sub>.

El porcentaje de humedad fue menor en los tratamientos que en su formulación contenían FNA. Esto es ocasionado por la mezcla de los tres materiales de pared (FNA-GA-MD) al incorporarse a la salsa para pizza. Dicha mezcla causa un aumento en los sólidos solubles totales, al ser carbohidratos de alto peso molecular permiten un mayor grado de deshidratación del producto (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2018a).

La combinación 2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD correspondiente al tratamiento T<sub>1</sub>, obtuvo menor porcentaje de humedad ( $3.68 \pm 0.19$  %) y el tratamiento T<sub>9</sub> (0 % FNA,

12 % GA y 12 % MD) mayor porcentaje ( $4.47 \pm 0.34$  %). Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Ortiz-Basurto *et al.* (2017) al utilizar FA en diferentes grados de polimerización combinados con MD para microencapsular jugo de pitanga (*Eugenia uniflora* L.), obteniendo un contenido de humedad menor al 3.4 % en todos sus tratamientos. Por su parte, Jiménez-Sánchez *et al.* (2018a) obtuvieron al utilizar MD al 10 % combinada con 0, 2 y 4 % de FNA (mismas concentraciones utilizadas en este estudio), 2.74, 2.92 y 3.02 % de humedad respectivamente en polvo de jugo de piña y 1.07, 0.76, 0.86 respectivamente, en polvo de jugo de mango.

La actividad de agua ( $a_w$ ) en los tratamientos oscilaron entre 0.1010 a 0.1406 (Cuadro 3). Se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el T<sub>8</sub> (menor  $a_w$ ) con T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>9</sub>. Los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub> y T<sub>7</sub> no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) con T<sub>8</sub>.

La combinación con 4 % FNA, 8 % GA y 12 % MD (T<sub>8</sub>) presentó menor valor (0.1010) de  $a_w$ , los tratamientos T<sub>2</sub> (4 % FNA, 12 % GA y 12 % MD), T<sub>4</sub> (2 % FNA, 8 % GA y 12 % MD) y T<sub>9</sub> (0 % FNA, 12 % GA y 12% MD) mayor  $a_w$  con 0.1397, 0.1406 y 0.1397, respectivamente.

Los valores de  $a_w$  obtenidos en las salsas en polvo para pizza son similares a los conseguidos por Ortiz-Basurto *et al.* (2017), al adquirir en todas sus formulaciones (MD-FA) micropartículas con menos de 0.200  $a_w$ , así como de las micropartículas obtenidas por Jiménez-Sánchez *et al.* (2018), con un valor menor a 0.1623  $a_w$  en los tratamientos con 10 % de MD y FNA en los polvos de jugo de piña. Mientras que en los polvos de jugo de mango se obtuvo una  $a_w$  menor a 0.1545.

Estos valores bajos de  $a_w$  se pueden deber a la estructura ramificada de los FA, que ayudan a unir agua evitando su libre movimiento e impidiendo la interacción con los constituyentes del alimento (Tamine y Robinson, 1999) liberando fácilmente el agua exponiéndolos a altas temperaturas durante el secado por aspersion.

Los resultados obtenidos en este estudio cumplen tanto las especificaciones máximas de humedad y  $a_w$  para los polvos secos en la industria alimentaria que son ~3-4 % de humedad y ~ 0.3 de  $a_w$  (Klaypradit y Huang, 2008). Al presentar valores bajos de humedad y  $a_w$  los polvos de salsa para pizza se pueden considerar con estabilidad física, química y microbiológica (Sablani *et al.*, 2007). Esto indica que las micropartículas dejan el secador de pulverización con características de estabilidad de almacenamiento adecuadas (Ortiz-Basurto *et al.*, 2017).

#### **1.4.1.3. Color**

El color es uno de los atributos más importantes de las frutas y verduras, así como sus productos derivados. Los valores de los parámetros colorimétricos correspondientes a los nueve tratamientos se muestran en el Cuadro 3.

Los tratamientos obtuvieron una  $L^*$  (Luminosidad) de 80.90 a 83.06,  $a^*$  (+rojo / -verde) de 6.24 a 7.91,  $b^*$  (+amarillo/ -azul) de 19.07 a 20.79. Los resultados obtenidos de las salsas en polvo para pizza presentan mayor  $L^*$ , menor  $a^*$  y similitud en  $b^*$  con los polvos de pitanga microencapsulados con MD y FA a diferentes grados de polimerización reportados por Ortiz-Basurto *et al.* (2017) en sus polvos de pitanga microencapsulados con MD y FA, logrando una  $L^*$  de 70.88-81.24,  $a^*$  de 11.02-20.80 y  $b^*$  de 16.25-24.21.

La combinación de materiales de pared FNA-GA-MD provocó un aumento en la luminosidad ( $L^*$ ) en comparación con los tratamientos encapsulados solamente con GA-MD. El aumento de  $L^*$  se puede deber a que los materiales de pared presentaban una coloración con tendencia al blanco. También otra posible causa sería la pérdida de agua presente en el alimento durante el secado, ayudando a la formación de las micropartículas dejando expuesto un recubrimiento de color claro formado por los materiales de pared (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2018a)

Otra posible causa en el aumento de  $L^*$  y la disminución de los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  es lo citado por Jiménez-Sánchez *et al.* (2018a), quienes mencionan que la palidez o disminución de color del producto final se puede atribuir a la pérdida de los

pigmentos presentes en la muestra cuando se alcanzan temperaturas superiores a 60 °C.

El principal pigmento presente en la salsa para pizza es el licopeno, ya que se encuentra en abundancia en el tomate. El licopeno es altamente inestable cuando es expuesto a ciertas condiciones tales como temperaturas elevadas, exposición a la luz, presencia de oxígeno y pH extremos (Arándiga Martí y Díaz Sánchez, 2008), pero en algunos casos es estable y su capacidad de extracción puede aumentar durante el procesamiento (Lavelli *et al.*, 2013).

La croma ( $C^*$ ) determina la pureza del color, el valor  $C^*$  obtenido en este estudio fue de 20 a 22. Los valores del ángulo de tono ( $H^*$ ) oscilaron entre 67.74 a 72.31°, ángulos similares fueron obtenidos por Ortiz-Basurto *et al.* (2017) con  $H^*$  de 40.92-65.51°, indicando un nivel de amarillez (0° rojo puro, 90° amarillo puro). Con base a esto también los ángulos  $H^*$  de los polvos en salsa para pizza indican un nivel de amarillez, independientemente de la combinación de materiales de pared utilizada.

#### **1.4.1.3. Propiedades fisicoquímicas relacionadas con el flujo de los polvos**

La densidad aparente, densidad compactada, índice de Carr, índice de Hausner, morfología y tamaño de partícula se muestran en el Cuadro 4. Estas propiedades fisicoquímicas están relacionadas con la fluidez de los polvos.

**Cuadro 4.** Propiedades fisicoquímicas relacionadas con el flujo de las microcápsulas de salsa para pizza.

Tratamiento	Densidad aparente (g/m <sup>3</sup> )	Densidad compactada (g/cm <sup>3</sup> )	IH	Fluidez	IC (%)	Fluidez	D <sub>10</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>90</sub>	Span
1 (12% MD, 12%GA, 2% FNA)	0.4102 ± 0.05 bc	0.5495 ± 0.01 cd	1.35 ± 0.14 b	Pobre	25.42 ± 7.27 b	Pasable	5.06 ± 0.35 d	13.65 ± 1.35 c	54.40 ± 25.74 ab	3.78 ± 2.45 ab
2 (12% MD, 12% GA, 4% FNA)	0.4501 ± 0.02 c	0.5491 ± 0.02 d	1.22 ± 0.01 a	Justa	18.01 ± 0.56 a	Bueno	4.30 ± 0.45 abc	10.78 ± 1.13 ab	33.30 ± 14.45 a	2.63 ± 0.89 a
3 (12% MD, 10% GA, 0% FNA)	0.4203 ± 0.01 abc	0.5526 ± 0.00 cd	1.31 ± 0.01 ab	Pasable	23.94 ± 0.54 b	Pasable	4.48 ± 0.37 abc	10.79 ± 0.81 ab	35.50 ± 14.99 ab	2.82 ± 1.04 ab
4 (12% MD, 8% GA, 2%FNA)	0.4506 ± 0.02 c	0.6176 ± 0.03 a	1.37 ± 0.02 b	Pobre	27.01 ± 0.91 b	Pobre	4.76 ± 0.32 cd	11.90 ± 0.90 b	88.55 ± 38.82 b	6.91 ± 2.48 b
5 (12% MD, 10% GA, 2% FNA)	0.4137 ± 0.01 bc	0.5569 ± 0.00 cd	1.35 ± 0.04 b	Pobre	25.70 ± 2.30 b	Pasable	4.05 ± 0.16 a	10.00 ± 0.40 a	29.05 ± 0.64 a	2.51 ± 0.23 a
6 (12% MD, 8% GA, 0% FNA)	0.4307 ± 0.00 ab	0.5641 ± 0.01 cd	1.31 ± 0.00 ab	Pasable	23.65 ± 0.26 b	Pasable	4.60 ± 0.41 bcd	11.05 ± 0.85 ab	51.95 ± 30.62 ab	4.16 ± 2.26 ab
7 (12% MD, 10% GA, 4% FNA)	0.4266 ± 0.01 ab	0.5492 ± 0.01 cd	1.29 ± 0.05 ab	Pasable	22.30 ± 2.72 ab	Pasable	4.06 ± 0.22 ab	10.53 ± 0.58 ab	49.55 ± 35.28 ab	4.21 ± 2.99 ab
8 (12% MD, 8% GA, 4% FNA)	0.4364 ± 0.01 ab	0.5737 ± 0.02 bc	1.31 ± 0.01 ab	Pasable	23.93 ± 0.52 b	Pasable	4.14 ± 0.11 ab	10.44 ± 0.47 ab	28.10 ± 4.24 a	2.29 ± 0.25 a
9 (12% MD, 12% GA, 0% FNA)	0.3892 ± 0.01 a	0.5979 ± 0.01 ab	1.54 ± 0.06 c	Muy pobre	34.89 ± 2.87 c	Muy pobre	4.53 ± 0.35 abcd	11.25 ± 0.85 ab	45.55 ± 20.58 ab	3.57 ± 1.40 ab

Letras iguales en la misma columna, no existe diferencia significativa (LSD,  $p \leq 0.05$ ).

#### 1.4.1.3.1. Densidad aparente ( $\rho_d$ ) y densidad compactada ( $\rho_b$ )

Los resultados obtenidos de densidad aparente ( $\rho_d$ ) presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 4). La  $\rho_d$  varió de 0.3892 a 0.4506 g/cm<sup>3</sup>, siendo los microencapsulados T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub> los que presentaron mayor densidad aparente ( $p \leq 0.05$ ) no encontrándose diferencias entre sí ( $p > 0.05$ ). Los tratamientos con menor densidad fueron T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub> y T<sub>9</sub>. El tratamiento T<sub>3</sub> (0 % FNA, 10 % GA y 12 % MD) no fue estadísticamente diferente ( $p > 0.05$ ) con los tratamientos de menor y mayor  $\rho_d$ .

Las micropartículas producidas con MD-GA-FNA presentaron menor  $\rho_d$  en comparación con las obtenidas por Jiménez-Sánchez *et al.* (2018a) al utilizar las mismas concentraciones de FNA (0, 2, 4 %) combinadas con MD (10 %), reportando valores de 0.5913 a 0.6212 g/cm<sup>3</sup> para polvos de jugo de piña y 0.6424 a 0.6219 g/cm<sup>3</sup> para polvos de jugo de mango, aplicando 120 °C como temperatura de entrada.

El presentar valores bajos de densidad aparente se debe al contenido bajo de humedad en los tratamientos de salsa en polvo para pizza. El contenido bajo de humedad en los tratamientos se obtuvo a las concentraciones evaluadas y a la interacción entre los materiales de pared (FNA, GA y MD), los cuales, al combinarse, provocan un aumento en los sólidos de alimentación, permitiendo una mayor deshidratación del producto y, por consiguiente, la disminución de la densidad aparente (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2018a).

Goula y Adamopoulos (2008) explican que la maltodextrina se considera un material formador de película y al usarla como transportador puede inducir la acumulación y la captura de aire en la partícula, haciendo que se vuelva menos densa y porosa. Por otra parte, Alvarenga *et al.* (2012) concluyen que los fructanos son buenos agentes transportadores, los cuales favorecen la microencapsulación, fomentan la disminución en el tamaño de partícula, tienen eficacia al encapsular aceite y producen una menor  $\rho_d$ .

La densidad compactada ( $\rho_b$ ) es un factor importante relacionado con el transporte, envasado y comercialización, por ello, está variable es útil para determinar el peso y la cantidad de material que se colocará dentro de un contenedor (Finney *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos en ( $\rho_b$ ) variaron de 0.5491 a 0.6176 g/cm<sup>3</sup>, presentando diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos. Al disminuir la concentración de GA de 12 a 8 % en los tratamientos con MD-GA-FNA la  $\rho_b$  aumenta. Sin embargo, los tratamientos con MD-GA se comportan directamente proporcional, es decir, al aumentar la concentración de 8 a 12 % de GA la densidad compactada aumenta.

La  $\rho_d$  y  $\rho_b$  son relacionadas con un bajo contenido de humedad, siendo los requisitos más importantes en el producto en polvo, convirtiéndose en un factor importante relacionado con el transporte, envasado y almacenamiento (Finney *et al.*, 2002). Quispe-Condari *et al.* (2011) mencionan que un producto seco de alta densidad se puede almacenar en un contenedor más pequeño, en comparación con un producto de baja densidad. Además, ambas densidades se relacionan para determinar la fluidez de los polvos a través de los índices de compresibilidad de Carr e índice de Hausner.

#### **1.4.1.3.2. Índice de compresibilidad de Carr (IC) e índice de Hausner (IH)**

La caracterización de las propiedades de flujo de polvos a menudo es necesaria para el diseño confiable y el funcionamiento adecuado de los procesos industriales (Leturia *et al.*, 2014). De acuerdo a Lebrun *et al.* (2012), el valor estándar del índice de compresibilidad de Carr (IC) e índice de Hausner (IH), debe estar dentro del 15 % para IC y 1.18 para IH para determinar una buena capacidad de flujo como se muestra en el Cuadro 2.

Siguiendo esta clasificación se determinó el tipo de flujo de las salsas en polvo para pizza (Cuadro 4). Dichos polvos presentaron un IC de 18.01 a 34.89 %, considerándose polvos con fluidez de buena a muy pobre. En cuanto los valores de IH, estos variaron de 1.22 a 1.54, obteniendo polvos con fluidez de justa a muy

pobre. El tratamiento que presentó menor IC e IH fue el T<sub>2</sub> (MD 12 %, GA 12 % y FNA 4%) con 18.01 y 1.22, respectivamente. La fluidez del T<sub>2</sub> respecto al IC se considera como buena, mientras que al IH como justa.

Shishir *et al.* (2014) mencionan que la calidad de los polvos se puede considerar como aceptable cuando se encuentren dentro del rango de excelente a pasable (IC = 0-25, IH = 1.00-1.34). Con base a esto, la mayoría de los tratamientos presentaron una fluidez pasable, considerándose así, como polvos aceptables, ya que se encuentran dentro del rango (Cuadro 4).

En este estudio todos los tratamientos presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) tanto en IC como en IH, siendo los tratamientos con 4 % de FNA los que presentaron menores valores en ambos índices en relación con los tratamientos con 2 % de FNA. El comportamiento observado fue que al disminuir solo la concentración de GA de 12 a 8 % en los tratamientos con MD-GA-FNA el IC e IH aumenta. Sin embargo, al aumentar de 2 a 4 % los FNA y de igual forma la concentración de GA (8 a 12 %), los IC e IH disminuyen. En los tratamientos con MD-GA al aumentar la GA de 8 a 12 % ambos índices aumentan.

El hecho de aumentar la concentración de FNA y GA en los tratamientos favoreció la reducción de ambos índices para lograr una mejor fluidez. Esto es debido a la estructura que presenta la GA, que en comparación con la MD cuenta con un número mayor de grupos hidrofílicos los cuales pueden unirse a moléculas de agua y, por lo tanto, favorecen la reducción del contenido de humedad de las partículas (Tonon *et al.*, 2009; Mohd *et al.*, 2015). El adicionar FNA a la salsa para pizza causó que los grupos hidrofílicos aumentarán, facilitando la evaporación del agua al someterlos a altas temperaturas, obteniendo partículas con baja humedad y actividad de agua (Rinaldoni *et al.*, 2012; Tamine y Robinson, 1999).

Tanto el IC e IH son parámetros cualitativos que indican la cohesión de un material granular. Ambos parámetros reflejan la fricción entre partículas en una masa de polvo en movimiento en lugar de en una situación estática. La propiedad de flujo de

polvo depende en gran medida de la forma y tamaño de las partículas de un material (Maheshwari *et al.*, 2018).

#### **1.4.1.3.3. Morfología y distribución del tamaño de partícula**

En la Figura 2 se muestran las micrografías de las micropartículas de la salsa en polvo para pizza. Las micrografías con MD-GA-FNA presentaron superficies redondas, con hundimientos o abolladuras y aglomeraciones, además se observaron tres tamaños diferentes de micropartículas (Figura 2a).

Jiménez-Sánchez *et al.* (2018a) reportan que al utilizar 10 % MD y FNA al 2 y 4 %, obtienen micrografías con características similares a las de este trabajo (partículas esféricas con ciertas contracciones, protuberancias y aglutinación entre ellas). De acuerdo con Jiménez-Sánchez *et al.* (2017) y Espinosa-Andrew y Urías-Silvas (2012) esto se puede deber a la higroscopicidad de los FNA y a la temperatura (130 °C), debido a que los fructanos tienen una pérdida de masa que está relacionada con la evaporación del agua y la descomposición térmica o pegajosidad que causa la contracción en las partículas.

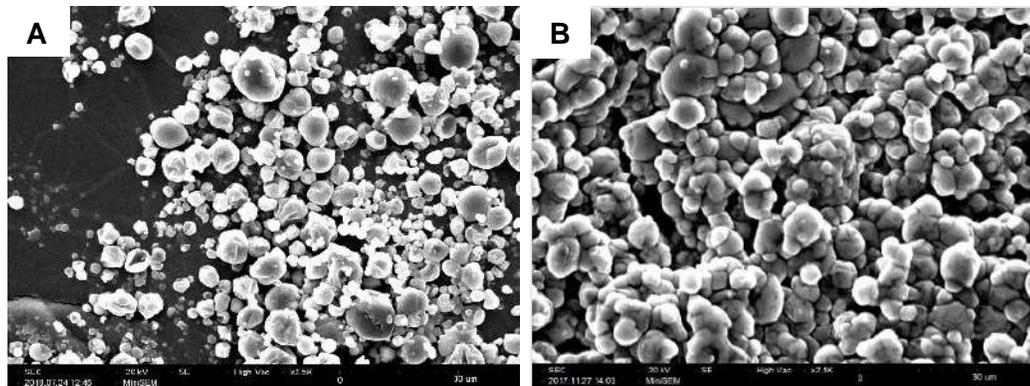
Por su parte, los tratamientos con MD-GA presentaron partículas redondas, con superficies lisas, ligero hundimiento y aglomeración (Figura 2b). Este tipo de características las observó Mishra *et al.* (2014) en sus micrografías, al utilizar únicamente MD en el secado por aspersion de jugo de *Emblica officinalis*.

Estudios realizados sobre la morfología de las micropartículas de GA por Fernandes *et al.* (2012), al microencapsular extractos de *Lippia sidoides*, indican que típicamente se forman partículas esféricas con muchas abolladuras en la superficie; mientras que, la MD produce partículas rotas e incompletas. Además, estos autores reportan que en las micropartículas producidas con GA-MD se observan abolladuras en la superficie y aglomeración, al igual que las obtenidas en este estudio.

Las micropartículas de la salsa de tomate de este estudio presentaron un  $D_{10}$  entre 4.05 – 5.06  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  10.00 – 13.65  $\mu\text{m}$  y  $D_{90}$  28.10 – 88.55  $\mu\text{m}$ . La dispersión de las partículas, calculada usando la ecuación *span* fue de  $2.29 \pm 0.25$  a  $6.91 \pm 2.48$   $\mu\text{m}$ .

Las partículas obtenidas con menor contenido de GA (8%) y 2% de FNA presentaron un mayor tamaño de partícula  $T_4$ . Sin embargo,  $T_4$  no presenta diferencias estadísticas significativas con  $T_1$ ,  $T_3$ ,  $T_6$ ,  $T_7$  y  $T_9$ .

La morfología y tamaño de partícula están relacionadas con la densidad del polvo. Las partículas de forma irregular y los aglomerados pueden conducir a una menor densidad aparente (Walton y Mumford, 1999b), mientras Krokida y Maroulis (1997), Krokida *et al.* (1998) y Master (1979) mencionan que la densidad aparente depende del tamaño de partícula.



**Figura 2.** Micrografías de las partículas de la salsa para pizza en polvo **(A)**  $T_1$  (MD 12 %, GA 12 % y FNA 2 %), **(B)**  $T_9$  (MD 12 % y GA 12 %)

## **1.5. CONCLUSIÓN**

La interacción de los materiales de pared FNA-GA-MD, aunada con una alta concentración de GA contribuyó al mejoramiento de las características fisicoquímicas, incrementando el rendimiento y tamaño de partícula en comparación a los tratamientos encapsulados con MD-GA. Además, la combinación de los tres materiales causó una disminución en el contenido de humedad, actividad de agua, así como el índice de compresibilidad de Carr e índice de Hausner, mejorando la fluidez.

## 1.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akdeniz, B., Kavak, D.D., Bagdatlioglu, N. (2012). Use of factorial experimental design for analyzing the effect of storage conditions on color quality of sundried tomatoes. *Scientific Research and Essays*, 7(4): 477-489.
- Álvarez-Henao, M.V., Saavedra, N., Medina, S., Jiménez-Cartagena, C., Alzate, L.M., Londoño-Londoño, J. (2018). Microencapsulation of lutein by spray-drying: Characterization and stability analyses to promote its use as a functional ingredient. *Food Chemistry*, 256: 181-187.
- Arándiga Martí, G., Díaz Sánchez, S. (2008). Estudio del licopeno de tomate como colorante natural desde la perspectiva analítica e industrial. Tesis de Ingeniería Técnica Industrial (Química industrial). Universidad Politécnica de Catalunya.
- Bergougnoux, V. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32: 170-189.
- Bertin, N., Génard, M. (2018). Tomato quality as influenced by preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 233: 264-276.
- Bhandari, B. R., Datta, N., Howes, T. (1997a). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15(2): 671-685.
- Burcin-Himmetagaoglu, A., Erbay, Z., Cam, M. (2018). Production of microencapsulated cream: Impact of wall materials and their ratio. *International Dairy Journal*, 83: 20-27.
- Dordevic, V., Balanc, B., Belscak-Cvitanovic, A., Levic, S., Trifkovic, K., Kalusevic, A., Nedovic, V. (2014). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews*, 7(4): 452-490.

- Espinoza-Andrews, H., Urías-Silvas, J.E. (2012). Thermal properties of agave fructans (*Agave tequilana* Weber var. Azul). *Carbohydrate polymers*, 87: 2671-2676.
- FAOSTAT, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online at <http://www.fao.org/faostat/>.
- Fernandes, L.P., Turatti, I.C.C., López, N.P., Ferreira, J.C., Candido, R.C., Oliveira, W.P. (2008). Volatile retention and antifungal properties of spray-dried micro particles of *Lippia sidoides* essential oil. *Drying Technology*, 26(12): 1534-1542.
- Fernandes, L.P., Candido, R.C., Oliveira, W.P. (2012). Spray drying microencapsulation of *Lippia sidoides* extracts in carbohydrate blends. *Food and Bioproducts Processing*, 90: 425-432.
- Fernandes, R.V.B, Borges, S.V., Botrel, D.A. (2013). Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, 33: 171-178.
- Fernandes, R.V.B, Vilela-Borges, S., Alvarenga-Botrel, D. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wallmaterials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Journal Carbohydrate Polymers*, 101: 524-532.
- Figuroa, J.A., Pereira, J.M.A., Porto-Figuroa, P., Cámara, J.S. (2017).Ultrasound-assisted liquid-liquid extraction followed by ultrahigh pressure liquid chromatography for the quantification of major carotenoids in tomato. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57: 87-93.
- Finney, J., Buffo, R., Reineccius, G. A. (2002). Effects of type of atomization andprocessing temperatures on the physical properties and stability of spray-driedflavors. *Journal of Food Science*, 67: 1108-1114.
- Geankopolis, C.J. (1999). Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3 edición. Compañía Editorial Continental. México, pp. 583-584.

- Gonçalves, V. S. S., Rodríguez-Rojo, S., De Paz, E., Mato, C., Martín, A., Cocero, M. J. (2015). Production of water soluble quercetin formulations by pressurized ethyl acetate- in-water emulsion technique using natural origin surfactants. *Food Hydrocolloids*, 51: 295-304.
- Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Powder properties. *Drying Technology*, 26: 726-737.
- Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. (2012). A new technique for spray-dried encapsulation of lycopene. *Drying Technology*, 30(6): 641-652.
- Guadarrama-Lezama, A. Y., Dorantes-Alvarez, L., Jaramillo-Flores, M. E., Pérez-Alonso, C., Niranjana, K., Gutiérrez-López, G. F., Alamilla-Beltrán, L. (2012). Preparation and characterization of non-aqueous extracts from chilli (*Capsicum annuum* L.) and their microencapsulates obtained by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 112(1-2): 29-37.
- Hausner, H.H. (1967). Friction conditions in a mass of metal powder. *International Journal of Powder Metallurgy*, 3: 7-13.
- Heredia, A.; Barrera, C., Andrés, A. (2007). Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. *Journal of Food Engineering*, 80(1):111-118.
- Huang, S., Liu, Y., Zhou, Y., Li, Q., Ren, G., Jing, Q., Ren, F. (2019). Exploring the effect of PVP on the spherical agglomeration process and micromeritic properties of ascorbic acid. *Powder Technology*, 342: 929-937.
- Janiszewska, E. (2014). Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. *Powder Technology*, 264: 190-196.

- Janiszewska-Turak, E. (2017). Carotenoids microencapsulation by spray drying method and supercritical micronization. *Food Research International*, 99: 891-901.
- Jiménez-Sánchez, D.E., Calderón-Santoyo, M., Picart-Palmade, L., Luna-Solano, G., Ortiz-Basurto, R.I., Bautista-Rosales, P.U., Ragazzo-Sánchez, J.A. (2017). Effect of addition on native agave fructans on spray-dried chayote (*Sechium edule*) and pineapple (*Ananas comosus*) juices: Rheology, microstructure, and water sorption. *Food and Bioprocess Technology*, 10 (11): 2069-2080.
- Jiménez-Sánchez, D.E., Calderon-Santoyo, M., Ortiz-Basurto, R.I., Bautista-Rosales, P.U., Ragazzo-Sanchez, J.A. (2018a). Effect of maltodextrin reduction and native agave fructans addition on the physicochemical properties of spray-dried mango and pineapple juices. *Food Science and Technology International*, 24(6): 519-532.
- Jiménez-Sánchez, D.E., Calderón-Santoyo, M., Picart-Palmade, L., Bautista-Rosales, P.U., Barros-Castillo, J.C., Ragazzo-Sánchez, J.A. (2018b). Chapter 6. Effect of maltodextrin reduction and native agave fructans addition on the rheological behavior of spray-dried juices. *Polymer Rheology*, 119-131.
- Jinapong, N., Suphantharika, M., Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84: 194-205.
- Kandansamy, K., Somasundaram, P.D., 2012. Microencapsulation of colors by spray drying: a review. *International Journal of Food Engineering*, 8(2): 1-15.
- Kaushik, P., Dowling, K., Barrow, C. J., Adhikari, B. (2015). Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. *Journal of Functional Foods*, 19: 868-881.

- Kha, T. C., Nguyen, M. H., Roach, P. D. (2010). Effect of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98: 385-392.
- Klaypradit, W., Huang, Y.W. (2008). Fish oil encapsulation with chitosan using ultrasonic atomizer. *LWT- Food Science and Technology*, 41: 1133-1139.
- Krishnaiah, D., Bono, A., Sarbatly, R., Nithyanandam, R., Anisuzzaman, S.M. (2015). Optimisation of spray drying operating conditions of *Morinda citrifolia* L. fruit extract using response surface methodology. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 27: 26-36.
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B. (1997). Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology*, 15(10): 2441-2458.
- Krokida, M. K., Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B. (1998). Shrinkage and porosity during drying. Modeling the effect of vacuum. *International Journal of Food Science and Technology*, 32: 445-458.
- Kuck, L.S., Zapata Noreña, C.P. (2016). Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*, 194: 569-576.
- Lavelli, V., Kerr, W., Sri Harsha, P.S.C. (2013). Phytochemical stability in dried tomato pulp and peel as affected by moisture properties. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 61: 700-707.
- Lebrun, P., Krier, F., Mantanus, J., Grohganz, H., Yang, M., Rozet, E., Hubert, P. (2012). Design space approach in the optimization of the spray-drying process. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 80: 226-234.
- Leturia, M., Benali, M., Lagarde, S., Ronga, I., Saleh, K. (2014). Characterization of flow properties of cohesive powder: A comparative study of traditional and new testing methods. *Powder Technology*, 253: 406-423.

- Lim, A. S., Roos, Y. H. (2016). Spray drying of high hydrophilic solids emulsions with layered interface and trehalose-maltodextrin as glass formers for carotenoids stabilization. *Journal of Food Engineering*, 171: 174-184.
- Maheshwari, R., Tedke, P., Kuche, K., Raval, N., Tekade, R.K. (2018). Dosage form design considerations. Chapter 17: Micromeritics in pharmaceutical product development. Elsevier. 1: 599-635.
- Masters, K. (1979). Spray drying fundamentals: Process stages and layouts. In *Spray drying handbook*. New York: Halsted Press, pp. 21-53.
- Mishra, P., Mishra, S., Mahanta, C.L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioprocess Processing*, 92: 252-258.
- Motilva, M.J., Maciá, A., Romero, M.P., Labrador, A., Domínguez, A., Peiró, L. (2014). Optimisation and validation of analytical methods for the simultaneous extraction of antioxidants: Application to the analysis of tomato sauces. *Food Chemistry*, 163: 234-243.
- Mueller, M., Reiner, J., Fleischhacker, L., Viernstein, H., Loeppert, R., Praznik, W. (2016). Growth of selected probiotic strains with fructans from different sources relating to degree of polymerization and structure. *Journal of functional Foods*, 24: 264-275.
- Navarro-González, I., García-Valverde, V., García-Alonso, J., Periago, M<sup>a</sup>.J. (2011). Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. *Food Research International*, 44: 1528-1535.
- Nollet, L.M., Toldrá, F. (2015). Handbook of food analysis, two volumen set. Boca Raton: CRC Press.

- Ortiz-Basurto R.I., Rubio-Ibarra M.E., Ragazzo-Sánchez J.A., Beristain C.I., Jiménez-Fernández M. (2017). Microencapsulation of *Eugenia uniflora* L. juice by spray drying using fructans with different degrees of polymerisation. *Journal Carbohydrate Polymers*, 175: 603-609.
- Özkan, G., Bilek, S.E. (2014). Microencapsulation of natural food colourants. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3): 145-156.
- Peanparkdee, M., Iwamoto, S., Yamauchi, R. (2016). Microencapsulation: A review of applications in the food and pharmaceutical industries. *Reviews in Agricultural Science*, 4: 56-65.
- Perveen, R., Suleria, H.A.R., Anjum, F.M., Butt, M.S., Pasha, I., Ahmad, S. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55: 919-929.
- Quek, S.Y., Chok, N.K., Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. *Chemical Engineering and Processing*, 46(5): 386-392.
- Quispe-Condori, S., Saldaña, M.D.A., Temelli, F. (2011). Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 1880-1887.
- Ramos-Hernández, J.A., Ragazzo-Sánchez, J.A., Calderón-Santoyo, M., Ortiz-Basurto, R.I., Prieto, C., Lagaron, J.M. (2018). Use of electrosprayed agave fructans as nanoencapsulating hydrocolloids for bioactives. *Nanomaterials*, 8: 868-879.
- Rinaldoni, A. N., Campderros, M. E., Pérez-Padilla, A. (2012). Physico-chemical and sensory properties of yogurt from ultrafiltered soy milk concentrate added with inulin. *LWT- Food Science and Technology*, 45: 142-147.

- Saini, R.K., Nile, S.H., Park, S.W. (2015). Carotenoids from fruits and vegetables: chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International*, 76(3): 735-750.
- Sarika, P. R., Cinthya, K., Jayakrishnan, A., Anilkumar, P. R., James, R. N. (2014). Modified gum arabic cross-linked gelatin scaffold for biomedical applications. *Materials Science and Engineering*, 43: 272-279.
- Shishir, M.R.I., Taip, F.S., Aziz, N.A., Talib, R.A. (2014). Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium guajava*) powder. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2: 74-81.
- Souza, A.L.R., Hidalgo-Chávez, D.W., Pontes, S.M., Gomes, F.S., Cabral, L.M.C., Tonon, R.V. (2018). Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. *LWT-Food Science and Technology*, 91: 286-292.
- Stewart, A. J., Bozonnet, S., Mullen, W., Jenkins, G. I., Lean, M. E., Crozier, A. (2000). Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(7): 2663-2669.
- Tamime, A. Y., Robinson, R. K. (1999). *Yoghurt: Science and technology*. 2 edición. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- Tonon, R. V., Brabet, C., Pallet, D., Brat, P., Hubinger, M. D. (2009). Physicochemical and morphological characterization of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 1950-1958.
- Tonon, R. V., Grosso, C. R. F., Hubinger, M. D. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44(1): 282-289.

- Tontul, I., Topuz, A. (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. Review. *Trends in Food Science and Technology*, 63: 91-102.
- Truong, V., Bhandari, B.R., Howes, T. (2005). Optimization of co-current spraydrying process of sugar-rich foods: Part I Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71: 55-65.
- Tuyen C.K., Minh H.N., Paul D.R. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98: 385-392.
- Urías-Silvas, J.E., Cani, P.D., Delmée, E., Neyrinck, A., López, M.G., Delzenne, N.M. (2008). Physiological effects of dietary fructans extracted from *Agave tequilana* Gto. and *Dasyliroton* spp. *British Journal of Nutrition*, 99: 254-261.
- Vila, M.M., Chaud, M. V., Balcao, V.M. (2015). Microencapsulation of natural antioxidant pigments. In L. M. C. Sagis (Ed.), *Microencapsulation and microspheres for food applications*. Elsevier, pp. 369-389.
- Walton, D. E., Mumford, C. J. (1999b). The morphology of spraydried particles—The effect of process variables upon the morphology of spray-dried particles. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, London, 77(A): 442-460.
- Wu, W., Kong, X., Zhang, C., Hua, Y., Chen, Y. (2018). Improving the stability of wheat gliadin nanoparticles—Effect of gum arabic addition. *Food Hydrocolloids*, 80: 78-87.

## CAPITULO II.

### EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS MATERIALES DE PARED SOBRE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE UNA SALSA PARA PIZZA SECADA POR ASPERSIÓN

#### 2.1. RESUMEN

Los alimentos ricos en antioxidantes desempeñan un papel esencial en la prevención de enfermedades. Tal es el caso del tomate y sus productos derivados como las salsas, siendo productos muy demandados por los consumidores por su alto contenido de compuestos bioactivos y su relación con la salud. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la combinación de los materiales de pared sobre la actividad antioxidante y los compuestos bioactivos presentes en una salsa para pizza secada por aspersión. Se determinó la actividad antioxidante (ABTS+, DPPH y FRAP), el contenido de fenoles solubles totales (método de Folin-Ciocalteu) y un análisis metabolómico no dirigido basado en cromatografía líquida de ultra rendimiento acoplada con espectrometría de masas de cuadrupolo de tiempo de vuelo (UPLC-QTOF-MS). El microencapsulado T<sub>1</sub> (2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) presentó mayor contenido de fenoles solubles con 257.25 mg EAG/100 g.s.p, seguido del microencapsulado T<sub>2</sub> (4 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) con 234.75 mg EAG/100 g.s.p. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre ellos. El contenido de fenoles solubles totales, además de la actividad antioxidante ABTS+ y FRAP, mostraron una relación positiva con respecto al T<sub>1</sub>. El T<sub>1</sub> resultó con mayor contenido de actividad antioxidante en ambas determinaciones (ABTS+ y FRAP), pero no así en el ensayo DPPH. Se obtuvo por medio del análisis metabolómico un listado de 101 compuestos fenólicos, siendo la familia de los ácidos fenólicos la de mayor abundancia en todos los microencapsulados. El T<sub>1</sub> (2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) presentó 96 compuestos, siendo el tratamiento con mayor presencia de metabolitos.

También el T<sub>1</sub> indicó mayor abundancia de metabolitos de acuerdo a la puntuación VIP (VIP > 1) y el mapa de calor. Con base a estos resultados, se puede considerar que los tratamientos que contenían mayor concentración de GA, en interacción con los FNA presentaron las mejores características para conservar los compuestos fenólicos solubles totales, actividad antioxidante (ABTS+, DPPH y FRAP), así como la cantidad y abundancia de compuestos bioactivos, destacando el tratamiento T<sub>1</sub> con 2 % de FNA y 12 % de GA.

## 2.2. INTRODUCCIÓN

Las autoridades sanitarias de todo el mundo recomiendan el consumo de frutas y verduras, ya que desempeñan un papel vital en la nutrición humana (Motilva *et al.*, 2014; López-Sánchez *et al.*, 2015). En los últimos años, los consumidores e investigadores se han enfocado en aspectos de nutrición y salud (contenido de vitaminas, minerales, antioxidantes, etc.) que los productos hortícolas puedan proporcionar (Scalzo *et al.*, 2005; Denardin *et al.*, 2015).

Uno de los frutos más populares, de mayor cultivo y consumo en el mundo e importante para la industria alimentaria es el tomate (Chanforan *et al.*, 2012; Duarte Augusto *et al.*, 2013; Tomas *et al.*, 2017). El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cuenta con un alto valor nutricional que proporciona cantidades sustanciales de vitaminas C, A, B<sub>6</sub> y E, además de minerales como manganeso, magnesio, potasio y fósforo, fibra dietética (Barbana y El-Omri, 2012; Xu *et al.*, 2016), así como carotenoides (licopeno,  $\beta$ -caroteno y luteína), tocoferoles y compuestos fenólicos (Chanforan *et al.*, 2012; Barbana y El-Omri, 2012; Perveen *et al.*, 2015; Saini *et al.*, 2015; Figueroa *et al.*, 2017; Diantom *et al.*, 2017; Tomas *et al.*, 2018).

El consumo de tomate (fresco/crudo) y productos derivados (kétchup, purés, jugos, pastas, tomates enlatados, salsas, etc.) es elevado, encontrándolo ampliamente incluidos en la dieta humana (Duarte Augusto *et al.*, 2013; Moelants *et al.*, 2014; Vallvedú-Queralt *et al.*, 2011a; Xu *et al.*, 2016). Actualmente, la tendencia indica que el producto que se consume con mayor frecuencia son las salsas de tomate (Moelants *et al.*, 2014). La función de las salsas es humedecer, enmascarar, contrastar y proporcionar sabor (Millán-Cardona *et al.*, 2010). Se asume que este tipo de productos a base de tomate como las salsas, desempeñan un papel esencial en la prevención de enfermedades crónicas como el cáncer y enfermedades cardiovasculares, debido a su alto contenido de antioxidantes (Burton-Freeman *et al.*, 2012; Moelants *et al.*, 2014; Zu *et al.*, 2014; Burton-Freeman y Sesso, 2014; Arranz *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2017; Medeiros Theóphilo Galvão *et al.*, 2018).

En ese sentido, la demanda de los consumidores por productos más naturales y saludables, obligan a la industria alimentaria a rediseñar procesos de fabricación para mejorar la calidad nutricional de los productos a base de frutas y verduras (López-Sánchez *et al.*, 2015).

En los últimos años, el estudio de la metabolómica de los alimentos ha aumentado gradualmente, porque los sistemas alimentarios están directamente relacionados con la nutrición y la salud humana (Kim *et al.*, 2016). La metabolómica se puede considerar la herramienta elegida para responder a las inquietudes y deseos de los consumidores, ya que tiene una gran variedad de usos en múltiples campos de la ciencia de los alimentos, incluida la identificación de compuestos, la ciencia sensorial, inocuidad, autenticidad, procesamiento y calidad nutricional de los productos alimenticios (Cevallos-Cevallos *et al.*, 2009; Chin y Slupsky, 2013). Por esta razón, la metabolómica se ha convertido en una tecnología prometedora para la industria alimentaria (Cevallos-Cevallos *et al.*, 2009; Cevallos-Cevallos y Reyes-De-Corcuera, 2012; Pinu, 2016).

Frank y Engel (2013) mencionan que el tomate es un modelo clave para la metabolómica de las frutas carnosas. Existen diversos estudios de enfoque metabolómico en frutos de tomate o productos derivados, sin encontrar reporte de una salsa de tomate deshidratada por aspersion.

El secado por aspersion es un proceso continuo que consiste en una combinación de varias operaciones unitarias tales como: atomización del fluido, difusión de la corriente de aire caliente, evaporación del líquido y separación del producto en pequeñas partículas sólidas (López *et al.*, 2009; Castañeda *et al.*, 2011; Gutiérrez *et al.*, 2016), el producto final presenta buena calidad, baja actividad de agua, fácil transporte y almacenamiento (Abadio *et al.*, 2004; Cano-Chauca, 2005; Quek, 2007; Bazarria y Kumar, 2018).

Este método de secado resulta adecuado para compuestos sensibles a altas temperaturas (Figuroa *et al.*, 2016). Estas características del polvo se pueden ver

afectadas si no se adiciona un material de pared o uno que no sea adecuado para el producto a secar, provocando la adherencia de las partículas a la cámara de secado, volviéndolos higroscópicos y no deseables para la industria alimentaria, por baja calidad y estabilidad (Gokhale y Lele, 2011; Bazarria y Kumar, 2018). Dentro de los materiales más utilizados para microencapsular alimentos por secado por aspersión se encuentra la maltodextrina (MD), la goma arábica (GA) (Goula y Adamopoulos, 2012; Burcin-Himmetagaoglu *et al.*, 2018) y la mezcla de ambos (Bringas-Lantigua *et al.*, 2011).

En los últimos años han surgido investigaciones sobre la aplicación de los fructanos de agave (FA) como un material de pared aplicado en secado por aspersión, Jiménez-Sánchez *et al.* (2017, 2018a y 2018b), microencapsularon jugo de zanahoria, mango, chayote y piña utilizando fructanos nativos de agave (FNA) combinados con MD. Ortiz-Basurto *et al.* (2017), utilizaron FA a diferentes grados de polimerización combinados con MD para microencapsular jugo de *Eugenia uniflora* L. Recientemente, Ramos-Hernández *et al.* (2018), han reportado el uso de FA de alto grado de polimerización para encapsular  $\beta$ -caroteno utilizando la técnica de electropulverización, todos ellos obteniendo resultados alentadores.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la combinación de los materiales de pared sobre la actividad antioxidante y los compuestos bioactivos presentes en una salsa para pizza secada por aspersión.

## **2.3. METODOLOGÍA**

### **2.3.1. MATERIALES**

Los materiales utilizados para la elaboración de la salsa se obtuvieron del mercado Nayarabastos, ubicado, en la ciudad de Tepic, Nayarit, México. Los tomates utilizados provenían de la región occidente de México, estos se seleccionaron en madurez de consumo. El orégano y la albahaca se adquirieron de forma fresca y el aceite utilizado fue de oliva extravirgen (Carbonell®, España). Los agentes encapsulantes utilizados fueron MD (DE 10) (IMSA®, Guadalajara, México), GA (Mi Granero Ingredientes Selectos, Puebla, México) y FNA (proporcionados por Mieles Campos Azules SA. de CV.).

### **2.3.2. PREPARACIÓN DE LA SALSA**

La salsa se preparó a base de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), albahaca (*Ocimum basilicum* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.), aceite de oliva extravirgen y sal, la formulación es secreto industrial de la empresa Impulsora de Proyectos Productivos SA. de CV. Los tres primeros ingredientes se lavaron y desinfectaron, en el caso de los tomates con una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm (0.02 %) por 2 min y las hierbas aromáticas con Microdyn® a 350 mg/L por 5 min. Posteriormente, los tomates fueron sometidos a cocción por 15 min a  $75 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . La homogeneización de los ingredientes se llevó a cabo en un procesador de alimentos de uso doméstico marca NUTRIBULLET® (modelo NB-201, China) a 900 W, 25,000 rpm, por 3 min. La salsa se filtró utilizando un tamiz No. 50 para retirar los residuos de semillas y/o cáscara. Se procesaron 600 mL de salsa por tratamiento.

### **2.3.2. SECADO POR ASPERSIÓN**

Se usó un mini secador por aspersion B290 BÜCHI (Büchi 100 Laboratory Equipment, Flawil, Switzerland), con temperatura de entrada de 130 °C y flujo de alimentación de 6 mL/min (para todos los tratamientos). Se aplicaron mezclas de tres

materiales de pared (Cuadro 1). La concentración en porcentaje es con respecto al volumen total de la salsa. El efecto de los materiales de pared se evaluó con base a la actividad antioxidante (ABTS+, DPPH y FRAP) y compuestos bioactivos presentes en las salsas en polvo para pizza.

**Cuadro 5.** Concentración de los materiales de pared utilizados en el secado por aspersión.

Material de pared (% p/v)	Tratamientos (T) %								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<b>MD</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>GA</b>	12	12	10	8	10	8	10	8	12
<b>FNA</b>	2	4	0	2	2	0	4	4	0
<b>Total de sólidos adicionados a la salsa</b>	26	28	22	22	24	20	26	24	24

**MD** = Maltodextrina **GA** = Goma arábica **FNA**= Fructanos nativos de agave

#### 2.3.4. DETERMINACIÓN DE FENOLES SOLUBLES TOTALES

El contenido de fenoles solubles totales se determinó por el método propuesto por Singleton *et al.* (1999). Para ello, se homogeneizó 1 g de salsa en polvo con 10 mL de agua destilada utilizando un homogeneizador (Ultraturrax, IKA®, Alemania). Posteriormente, se centrifugó a 9000 rpm por 15 min a 4 °C, recuperando el sobrenadante. En seguida se tomaron 50 µL y se mezclaron con 250 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (diluidos 1:10 con agua destilada). La anterior mezcla se mantuvo en reposo por 5 min y se adicionaron 200 µL de una solución de carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) al 7.5 %. La absorbancia de la solución se midió a 760 nm. El contenido de fenoles solubles totales se obtuvo a partir de una curva de calibración con ácido gálico (0-400 mg L<sup>-1</sup>). La actividad antioxidante se expresó como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de salsa en polvo (mg EGA/100 gramos de salsa en polvo, g.s.p.).

#### 2.3.5. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante de los alimentos está determinada por una mezcla de diferentes antioxidantes con diferentes mecanismos de acción (Pérez-Jiménez *et al.*,

2008), por lo que se seleccionaron tres diferentes métodos para medir la actividad antioxidante de las salsas en polvo para pizza.

#### **2.3.5.1. Actividad antioxidante por el método de DPPH.**

La determinación de la actividad antioxidante por el método de DPPH, se llevó a cabo por la metodología propuesta por Brand-Williams *et al.* (1995). Se homogeneizó 1 g de salsa en polvo en 10 mL de agua destilada utilizando un homogeneizador (Ultraturrax, IKA®, Alemania). El homogeneizado se centrifugó por 15 min a 9000 rpm. La solución DPPH se diluyó con etanol puro hasta alcanzar una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$  a 517 nm. A partir del sobrenadante se tomaron 50  $\mu$ L de muestra y se hizo reaccionar con 250  $\mu$ L de solución DPPH. Enseguida, la mezcla se dejó reposar en la oscuridad durante 30 min y se leyó a 517 nm el cambio de absorbancia. La actividad antioxidante se determinó usando una curva estándar con ácido ascórbico (0-100 mg L<sup>-1</sup>). Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.s.p).

#### **2.3.5.2. Actividad antioxidante por el método de ABTS+.**

La determinación de captación del radical ABTS+ se llevó a cabo por la técnica establecida por Re *et al.* (1999). La actividad antioxidante se cuantificó al preparar ABTS+ (Sigma–Aldrich, EUA) 7 mM y persulfato de potasio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) a 2.45 mM. Estos dos compuestos se mezclaron 1:1 dejándolos reposar durante 16 h. Posteriormente, la mezcla se diluyó con etanol al 20 % hasta alcanzar una absorbancia de  $0.7 \pm 0.02$  a 734 nm. En seguida se homogeneizó 1 g de salsa en polvo con 10 mL agua destilada con ayuda de un homogeneizador (Ultraturrax, IKA®, Alemania). Después se centrifugó a 9000 rpm por 15 min a 4°C, recuperando el sobrenadante. Se tomaron 10  $\mu$ L del sobrenadante los cuales se mezclaron con 490  $\mu$ L de ABTS+, dejándolos reaccionar durante 7 min. El análisis se realizó a una absorbancia a 734 nm. La actividad antioxidante fue determinada usando una curva estándar con ácido ascórbico (0-150 mg L<sup>-1</sup>). Los resultados fueron expresados en mg equivalente de ácido ascórbico (mg EAA/100 g.s.p.) (Re *et al.*, 1999).

### **2.3.5.3. Actividad antioxidante por el método de reducción férrica (FRAP).**

La actividad antioxidante (FRAP) se determinó por el método descrito por Yen y Chen (1995), como se describe a continuación. Primeramente, se homogeneizó 1 g de salsa en polvo con agua destilada utilizando un homogeneizador (Ultraturrax, IKA®, Alemania). Después, se centrifugó a 9000 rpm por 15 min a 4 °C, recuperando el sobrenadante. Se tomaron 25 µL de sobrenadante mezclándolos con 63 µL buffer de fosfatos (0.2 M, pH 6.6) y 63 µL de hexacianoferrato de potasio ( $K_3Fe(CN)_6$ ) al 0.1 %. La mezcla se incubó por 30 min a 37 °C en oscuridad. En seguida, se agregaron 63 µL de ácido tricloroacético al 10 % y se centrifugó a 9000 rpm durante 10 min (en caso de precipitado). De la capa superior de solución se tomaron 120 µL, se mezclaron con 126 µL de agua destilada y 25 µL cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) al 0.1 %. La absorbancia se midió a 700 nm. La actividad reductora fue determinada usando una curva estándar con ácido ascórbico (0-30 mg L<sup>-1</sup>). Los resultados se expresaron en mg equivalentes ácido ascórbico (mg EAA/100 g.s.p).

## **2.3.6. ANÁLISIS METABOLÓMICO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS**

### **2.3.6.1. Preparación de la muestra**

Se pesaron 200 mg de polvo y se adicionó 1 mL de agua destilada en un tubo eppendorf. Posteriormente, se agitaron las muestras en un vortex hasta obtener una mezcla homogénea (3 a 5 min). Las muestras se centrifugaron a 10000 rpm por 10 min a 4 °C. En un segundo tubo eppendorf (previamente rotulado) se recuperó el sobrenadante. Estos pasos se repitieron hasta completar tres lavados de la muestra. El sobrenadante recuperado de todos los lavados se filtró utilizando un filtro de 0.45 µm y se tomaron 100 µL, los cuales se colocaron en un vial ámbar con inserto.

### **2.3.6.2. Determinación de compuestos bioactivos (UPLC-QTOF-MS)**

El perfil fitoquímico se analizó mediante un sistema de cromatografía líquida de alto rendimiento (UPLC) Acquity UPLC™ H-Class (Waters, Manchester, Reino Unido) acoplado a un espectrómetro de masas (MS QToF) con una interfase de ionización de electropulverización a presión atmosférica (ESI) (Vion, Waters Co, MA, EE. UU.). La

columna utilizada fue una Acquity BEH C18 (100 x 2.1 mm, 1.7  $\mu$ m) a 35 °C. El gradiente de elución se realizó con un sistema binario que consistía en (A) 0.1 % de ácido fórmico en agua y (B) 0.1 % de ácido fórmico en acetonitrilo. El siguiente gradiente se aplicó a un caudal de 0,4 mL/ min: 0 min, 5 % B; 22 min, 95 % de B, mantenido durante 5 min, seguido de un paso de reequilibrio durante 3 min. El volumen de inyección fue de 2  $\mu$ L y la temperatura de la muestra se fijó a 10 °C (Rodríguez-González *et al.*, 2017).

Las condiciones del espectrómetro de masas fueron las siguientes: la temperatura de la fuente se ajustó a 120 °C y se utilizó nitrógeno como gas de desolvatación (800 L/h) a temperatura de 450 °C. Los voltajes del cono de muestreo y del capilar fueron 40 V y 3.5 kV, respectivamente. La adquisición de datos se realizó utilizando el modo de ionización negativo de MS<sup>E</sup> de alta definición con un rango de masa de 50-2000 Da. Se usó leucina-encefalina (50 pg/mL) a 10 mL/min para la corrección de masas. La identificación de los picos se llevó a cabo por medio de la identificación de la masa exacta del ion pseudo-molecular (confirmación de la composición elemental con <10 ppm de error de masa), el análisis del patrón de fragmentación y la distribución isotópica del ion pseudo-molecular. La adquisición de datos se realizó con el Sistema de Información Científica UNIFI (Waters Co).

### **2.3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

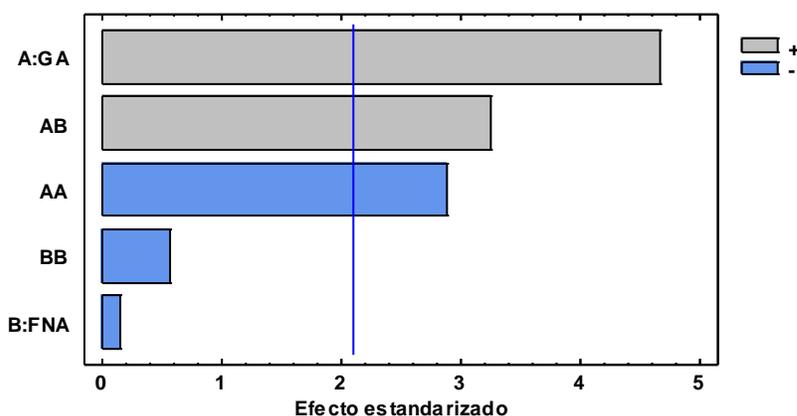
Se utilizó un diseño experimental 3<sup>2</sup>, derivados de tres concentraciones diferentes (GA = 12, 10 y 8 % y FNA = 4, 2, 0 %) y dos materiales de pared (GA y FNA). La actividad antioxidante y contenido de fenoles solubles totales se realizaron por triplicado. Los resultados obtenidos se evaluaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y la diferencia entre medias se realizó con la prueba LSD con  $p \leq 0.05$  de nivel de significancia, utilizando el paquete estadístico Statgraphics® Centurion XV.II.

El análisis metabolómico se llevó a cabo mediante el software MetaboAnalyst 4.0. Se realizó un análisis multivariado aplicando un análisis de cuadrados mínimos parciales (PLS-DA), además de un agrupamiento jerárquico no supervisado (mapa de calor).

## 2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.4.1. DETERMINACIÓN DE FENOLES SOLUBLES TOTALES

El efecto de los materiales de pared sobre el contenido de fenoles solubles totales presentes en los nueve tratamientos de salsa en polvo para pizzas, se muestra en la Figura 3. En esta figura se muestra un diagrama de Pareto para el contenido de fenoles solubles totales, donde se observa que las variables estadísticamente significativas y directamente proporcionales fueron la concentración de GA y la interacción de GA con los FNA.



**Figura 3.** Diagrama de Pareto para el contenido de fenoles solubles totales en las salsas en polvo para pizza.

Los microencapsulados T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub> y T<sub>9</sub> no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre ellos. Los tratamientos T<sub>1</sub> (2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) y T<sub>7</sub> (4 % FNA, 10 % GA y 12 % MD) presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con T<sub>3</sub> (0 % FNA, 10 % GA y 12 % MD) y T<sub>8</sub> (4 % FNA, 8 % GA y 12 % MD) (Cuadro 6).

De acuerdo a los resultados obtenidos el microencapsulado T<sub>1</sub> presentó mayor concentración de fenoles solubles totales con 257.25 mg EAG /100 g de salsa en polvo (g.s.p.), seguido del T<sub>7</sub> con 250.46 mg EAG/100 g.s.p. El tratamiento que

presentó menor cantidad de fenoles solubles totales fue T<sub>3</sub> con 167.89 mg EAG/100 g.s.p.

En la revisión de Lu *et al.* (2019), mencionan que el contenido de fenoles presente en las cáscaras de tomate se ubicó en un rango de 157.80 mg EAG/100 g. Dato menor a lo obtenido en los nueve tratamientos de salsa en polvo para pizza. En este trabajo la salsa se elaboró con tomate completo, orégano, albahaca y aceite de oliva, beneficiando el incremento en el contenido de fenoles solubles totales.

De acuerdo a lo observado en el Cuadro 6, los fenoles solubles totales aumentaron en los tratamientos con 10 y 12 % de GA al agregar FNA en las salsas para pizza. Sin embargo, este comportamiento es inverso en los tratamientos con 8 % de GA, es decir, al adicionar FNA la cantidad de fenoles disminuye.

Tomas *et al.* (2018) reportan que al agregar 10 % de inulina a una salsa de tomate causo una disminución en el contenido fenólico, relacionando esto con la interacción entre la inulina y los compuestos fenólicos.

Los fructanos se caracterizan por atrapar moléculas de agua debido a su estructura, en la cual se encuentran expuestos grupos OH y H libres (Rinaldoni *et al.*, 2012). Esto puede perjudicar la encapsulación, al ser más fácil la incorporación de agua a la partícula, causando una degradación de los metabolitos, ya que, al aumentar la  $a_w$  y humedad se favorece al desarrollo de la actividad enzimática. Esto se relaciona con lo mencionado por Espinosa-Andrews y Urias-Silvas (2011), las distintas ramificaciones de los fructanos nativos de agave, permite la hidratación al contacto con el ambiente. Mientras Jiménez-Sánchez (2018c), justifica que los fructanos nativos de agave presentan mayor higroscopicidad al ser una mezcla de fructanos de alto, medio y bajo grado de polimerización.

**Cuadro 6.** Contenido de fenoles solubles totales y actividad antioxidante presentes en las salsas en polvo para pizza.

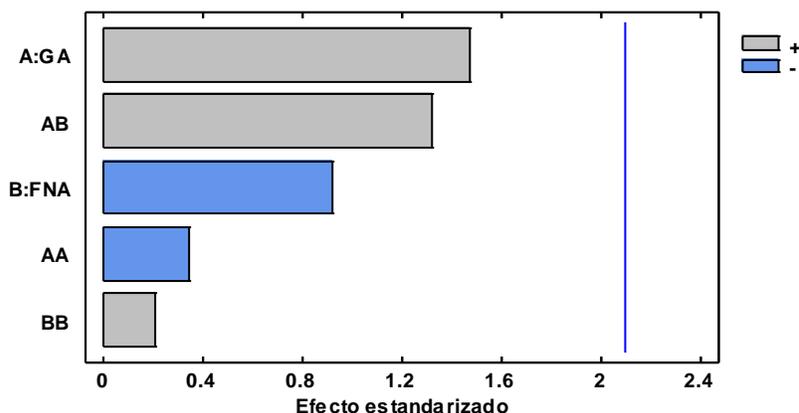
Materiales de pared			No. Tratamiento (T)	Fenoles solubles totales mg EAG/100 g.s.p.	Actividad antioxidante		
FNA	GA	MD			ABTS mg EAA/100 g.s.p.	DPPH mg EAA/100 g.s.p.	FRAP mg EAA/100 g.s.p.
0	8	12	6	219.94 ± 6.42 ab	345.40 ± 4.46 ab	318.49 ± 22.52 ab	12.51 ± 0.75 bc
0	10	12	3	167.89 ± 118.23 b	344.37 ± 7.25 abc	324.15 ± 34.15 ab	13.10 ± 0.87 b
0	12	12	9	213.66 ± 8.72 ab	341.59 ± 3.23 abc	360.42 ± 37.38 a	11.11 ± 0.54 cd
2	8	12	4	199.04 ± 7.00 ab	338.33 ± 7.79 bc	271.44 ± 95.13 b	12.10 ± 0.31 bc
2	10	12	5	222.76 ± 7.70 ab	337.06 ± 9.77 bc	296.63 ± 30.84 ab	12.23 ± 1.14 bc
2	12	12	1	257.25 ± 9.22 a	349.76 ± 4.21 a	338.33 ± 26.04 ab	15.92 ± 2.08 a
4	8	12	8	181.16 ± 4.94 b	334.52 ± 6.81 c	343.76 ± 13.71 a	10.26 ± 0.61 d
4	10	12	7	250.46 ± 4.33 a	346.83 ± 3.94 ab	307.17 ± 4.55 ab	13.30 ± 0.93 b
4	12	12	2	234.75 ± 17.69 ab	341.11 ± 4.23 abc	321.43 ± 41.01 ab	12.32 ± 0.97 bc

Letras iguales en la misma columna, no existe diferencia significativa (LSD,  $p \leq 0.05$ ).

## 2.4.2. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE (ABTS+, DPPH y FRAP)

Anteriormente, la actividad antioxidante del tomate se asociaba a su contenido de licopeno. Sin embargo, este fruto es fuente importante de ácido ascórbico, polifenoles y flavonoides que también tienen esta actividad (Palomo *et al.*, 2010) y que, probablemente contribuyen a los efectos observados en este estudio.

En la Figura 4 se muestra un diagrama de Pareto para la actividad antioxidante ABTS+, donde se observa que no hay efecto estadísticamente significativo entre los materiales de pared y sus interacciones.



**Figura 4.** Diagrama de Pareto para la actividad antioxidante ABTS+ en la salsa en polvo para pizza.

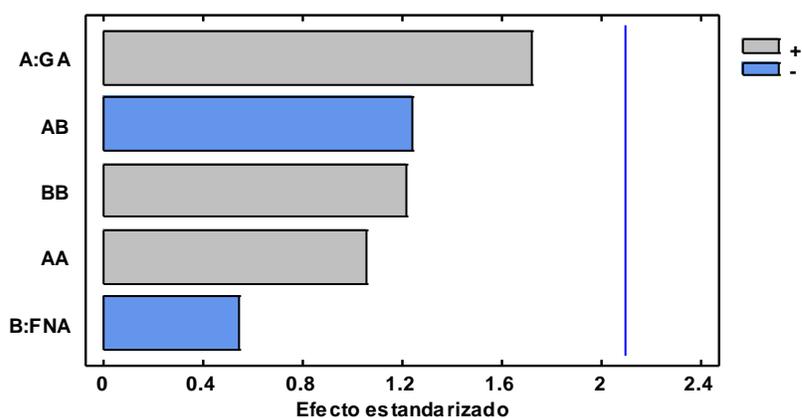
Esto se comprueba debido a que la mayoría de los tratamientos (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub> y T<sub>9</sub>) fueron estadísticamente iguales ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, el microencapsulado T<sub>1</sub> (2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) presentó mayor actividad antioxidante del radical ABTS+ con 349.76 mg EAA/100 g.s.p. Los microencapsulados T<sub>4</sub> (2 % FNA, 8 % GA y 12 % MD), T<sub>5</sub> (2 % FNA, 10 % GA y 12 % MD) y T<sub>8</sub> (4 % FNA, 8 % GA y 12 % MD) obtuvieron estadísticamente menor actividad antioxidante del radical ABTS+ con 338.33, 337.06 y 334.52 mg EAA/100 g.s.p., respectivamente (Cuadro 6).

Los tratamientos de salsa para pizza microencapsulados únicamente con GA-MD se comportaron de la siguiente manera, al disminuir la concentración de 12 % de GA

hasta 8 %, la actividad antioxidante por ABTS+ aumenta de 341.59 a 345.40 mg EAA/100 g.s.p.

Por su parte, los tratamientos con 2 % de FNA presentaron mayor actividad antioxidante al aumentar de 8 a 12 % la GA (338.33 a 349.76 mg EAA/100 g.s.p.). Mientras que, el grupo de tratamientos con 4 % de FNA ( $T_2$ ,  $T_7$  y  $T_8$ ) no se comportó de la misma forma. Siendo la concentración de 10 % de GA la que favoreció el aumento de la actividad antioxidante con 346.83 mg EAA/100 p.s.p. perteneciente al microencapsulado  $T_7$  (4 % FNA, 10 % GA y 12 % MD).

En la Figura 5 se muestra un diagrama de Pareto para la actividad antioxidante DPPH, donde se observa que no hay efecto estadísticamente significativo entre los materiales de pared y sus interacciones.



**Figura 5.** Diagrama de Pareto para la actividad antioxidante DPPH en las salsas en polvo para pizza.

Esto se corrobora, ya que la mayoría de los resultados obtenidos por DPPH no indicaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) (Cuadro 6). Sin embargo, el microencapsulado  $T_4$  (2 % FNA, 8 % GA y 12 % MD), con menor actividad antioxidante DPPH, sí presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con  $T_8$  (4 % FNA, 8 % GA y 12 % FNA) y  $T_9$  (0 % FNA, 12 % GA y 12 % MD).

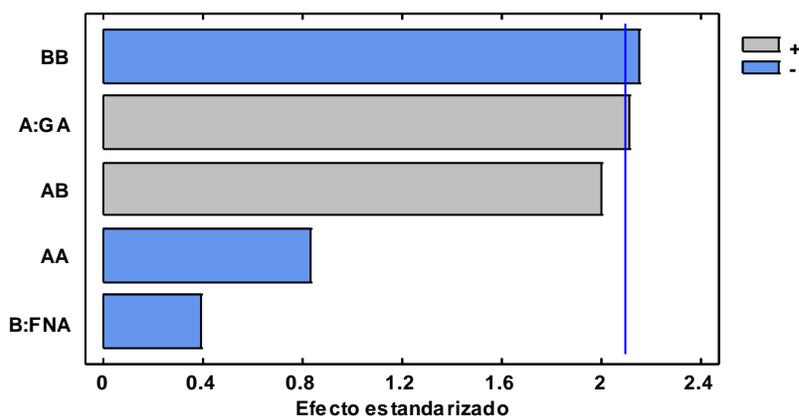
La actividad antioxidante determinada por DPPH varió de  $296.63 \pm 30.84$  a  $360.42 \pm 37.88$  mg EAA/100 g.s.p. Siendo el tratamiento T<sub>9</sub> (FNA 0 %, GA 12 % y MD 12 %) el que presentó mayor actividad antioxidante con  $360.42 \pm 37.38$  mg EAA/100 g.s.p., seguido de T<sub>8</sub> (FNA 4 %, GA 8 % y MD 12 %) con  $343.76 \pm 13.71$  mg EAA/100 g.s.p.

El microencapsulado T<sub>9</sub> presentó mayor actividad antioxidante ( $360.42 \pm 37.38$  mg EAA/100 g.p.s.) entre los tratamientos encapsulados sólo con GA-MD. De los tratamientos encapsulados con FNA-GA-MD el T<sub>1</sub> (FNA 2 %, GA 12 % y MD 12 %) presentó mayor actividad antioxidante con 338.33 mg EAA/100 g.s.p. de los tratamientos con 2 % de FNA. El tratamiento T<sub>8</sub> con  $343.76 \pm 13.71$  mg EAA/100 g.s.p., resultó con mayor actividad antioxidante del grupo de los encapsulados con 4 % de FNA.

Los tratamientos con GA-MD presentaron un comportamiento similar a los tratamientos con 2 % de FNA. Debido que, al aumentar la concentración de 8 % de GA hasta 12 %, la actividad antioxidante aumenta. Este comportamiento no fue igual en los tratamientos que contenían 4 % de FNA, ya que al disminuir la concentración de 12 % de GA hasta un 8 %, la actividad antioxidante aumentaba de  $321.43 \pm 41.01$  a  $343.76 \pm 13.71$  mg EAA/100 g.s.p., (Cuadro 6).

Los resultados obtenidos utilizando el método de reducción férrica (FRAP) se muestran en el Cuadro 6, donde se puede observar diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de Pareto para la actividad antioxidante FRAP, donde se observa un efecto estadísticamente significativo en la interacción cuadrática de los FNA y la GA.



**Figura 6.** Diagrama de Pareto para la actividad antioxidante FRAP en las salsas en polvo para pizza.

Lo anterior se ve reflejado en que el mejor tratamiento fue T<sub>1</sub>, el cual tiene la máxima concentración de GA y el valor intermedio de FNA. El microencapsulado T<sub>1</sub> (FNA 2 %, GA 12 % y MD 12 %) presentó diferencia significativa con el resto de los tratamientos. La actividad antioxidante varió de  $10.26 \pm 0.61$  a  $15.92 \pm 2.08$  mg EAA/100 g.s.p. Siendo T<sub>1</sub> el microencapsulado con mayor actividad antioxidante ( $15.92 \pm 2.08$  mg EAA/100 g.s.p.).

La actividad antioxidante aumentaba en los tratamientos de salsa en polvo para pizzas con 2 % de FNA, al incrementar la concentración de 8 % de GA hasta 12 % ( $12.10$  a  $15.92$  mg EAA/100 g.s.p.). Este comportamiento no se presentó en los tratamientos con 0 y 4 % FNA siendo mayores los tratamientos que en su formulación contenían 10 % de GA.

Ortiz-Basurto *et al.* (2017), reportaron que los compuestos bioactivos están más protegidos cuando se usa mayor proporción de agente encapsulante y que los fructanos de agave proporcionan un grado similar de protección a la MD. La actividad antioxidante FRAP de las salsas en polvo para pizzas se vió favorecida al utilizar la concentración más alta de GA (12 %) y adicionar FNA. Esto se puede deber a lo descrito por Daza *et al.* (2016), quienes mencionan que la conservación de los

compuestos bioactivos es directamente proporcional a la concentración de los materiales de pared utilizados, es decir, a mayor concentración de materiales de pared mayor conservación de compuestos. Ellos lograron conservar más compuestos bioactivos en los microencapsulados de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.), al adicionar inulina a la GA como material de pared. A su vez, Araujo-Díaz *et al.* (2017), describen que debido al estado amorfo exhibido por la MD y los fructanos en una amplia gama de actividades acuáticas, que se ha informado limitan la movilidad molecular y evitan las reacciones químicas y bioquímicas que favorecen la estabilidad de los antioxidantes encapsulados.

### 2.4.3. ANÁLISIS METABOLÓMICO DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y ÁCIDOS ORGÁNICOS

En el Cuadro 7 se muestra el perfil metabolómico de compuestos fenólicos y ácidos orgánicos presentes en las salsas en polvo para pizza. De acuerdo al tiempo de retención (RT) de los compuestos identificados, fórmula molecular pronosticada del ión pseudomolecular en modo de ión negativo [M-H]<sup>-</sup>, los valores de la masa esperada (calculada en base a la fórmula molecular), masa observada, error de masa (diferencia entre ambos valores) y los valores de respuesta para cada uno de los tratamientos analizados.

El análisis de los nueve tratamientos arrojó un listado de 101 compuestos fenólicos, la mayoría identificados como ácidos fenólicos, seguido de flavonoides, lignanos, otros polifenoles como hidroxycumarinas y tirosoles. También se detectó la presencia de ácidos orgánicos (ácido ascórbico, cítrico, fumárico, málico, quínico, shikímico y succínico) en los nueve tratamientos (Cuadro 7).

De acuerdo a Chanforan *et al.* (2012) los flavonoides están altamente representados en el tomate, aunque su aparición se ha restringido casi exclusivamente a la epidermis del tomate. Cabe recordar que la salsa para pizza se elaboró a partir de tomates completos, es decir, no se retiró cáscara ni semillas. Además, cuenta con orégano, albahaca y aceite de oliva extra virgen, lo que pudo mejorar la calidad fitoquímica de la salsa para pizza al aportar compuestos fenólicos (Fonnegra y Jiménez, 2007; Guerra-Cantú *et al.*, 2016; Yépez-Hernández, 2016; Nolzco *et al.*, 2015; Paucar-Menacho *et al.*, 2015).

**Cuadro 7.** Perfil metabolómico de compuestos fenólicos y ácidos orgánicos presentes en las salsas en polvo para pizza.

Código	Compuestos	Fórmula molecular	RT (min)	Masa espera (Da)	Masa observada (Da)	Error de masa (ppm)
<b>Dihidroflavonoles</b>						
DF-1	Dihidromiricetina 3-O-ramnósido	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>12</sub>	3.86	466.1111	466.111	-0.23
DF-2	Dihidroquercetina	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	5.91	304.0583	304.0579	-1.2
DF-3	Dihidroquercetina 3-O-ramnósido	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	5.96	450.1162	450.1163	0.16
<b>Flavanoles</b>						
FLE-4	(Epi)-galocatequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	3.48	306.074	306.0733	-2.08
FLE-5	Catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	3.89	290.079	290.0787	-1.16
FLE-6	(Epi)-catequina 3-O-glucosa	C <sub>21</sub> H <sub>24</sub> O <sub>11</sub>	4.21	452.1319	452.1313	-1.28
<b>Flavanonas</b>						
FLA-7	Naringenina	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	8.71	272.0685	272.0681	-1.3
FLA-8	Naringenina 7-O-glucósido	C <sub>21</sub> H <sub>22</sub> O <sub>10</sub>	5.79	434.1213	434.1214	0.3
FLA-9	Naringina	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>14</sub>	5.92	580.1792	580.1792	-0.09
FLA-10	Naringina 6-O-malonato	C <sub>30</sub> H <sub>34</sub> O <sub>17</sub>	6.19	828.2324	828.2296	-3.36
FLA-11	Neerocietrina	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>15</sub>	4.51	596.1741	596.1738	-0.56
FLA-12	Eriocitrina	C <sub>27</sub> H <sub>32</sub> O <sub>15</sub>	4.5	596.1741	596.1731	-1.78
FLA-13	Eriodictiol	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	6.74	288.0634	288.0634	-0.08
<b>Flavonas</b>						
FLN-14	5,6-Dehidroxi-7,8,3',4'-tetrametoxiflavona	C <sub>19</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	7.76	374.1002	374.0993	-2.32
FLN-15	7,3',4'-Trihidroxiflavona	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	6.25	270.0528	270.052	-2.99
<b>Flavonoles</b>						
FLO-16	Kaempferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>	5.77	286.0477	286.0478	0.18
FLO-17	Kaempferol 3-O-(6-acetil-galactosido) 7-O-ramnósido	C <sub>29</sub> H <sub>32</sub> O <sub>16</sub>	5.68	636.169	636.1709	2.91
FLO-18	Kaempferol 3-O-acetil-glucósido	C <sub>23</sub> H <sub>22</sub> O <sub>12</sub>	6.05	490.1111	490.1081	-6.24
FLO-19	Kaempferol 3-O-galactósido 7-O-ramnósido	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	6.21	594.1585	594.1574	-1.81
FLO-20	Kaempferol 3-O-glucósilo-ramnósilo-glucósido	C <sub>33</sub> H <sub>40</sub> O <sub>20</sub>	4.64	756.2113	756.2135	2.92
FLO-21	Kaempferol 3-O-rutinósido	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>15</sub>	4.83	594.1585	594.1574	-1.77

Continuación cuadro 7.

Código	Abundancia (área bajo la curva)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<b><i>Dihidroflavonoles</i></b>									
DF-1	1737	1448	770	802	1299	700	896	1165	1494
DF-2	1214	1153	1133	959	867	1259	1237	1242	1621
DF-3	2904	2714	1788	708	2845	493	721	1768	4088
<b><i>Flavanoles</i></b>									
FLE-4	277	258	131	106	183	168	181	169	104
FLE-5	69	ND	ND	95	ND	108	ND	ND	71
FLE-6	411	416	202	429	277	236	111	202	99
<b><i>Flavanonas</i></b>									
FLA-7	15647	21520	34028	643	1269	983	1314	928	66950
FLA-8	6936	7529	5682	1568	6524	5664	6001	7260	9971
FLA-9	4108	3934	2820	2920	2460	2118	4784	4812	1019
FLA-10	1692	1719	1094	641	286	1014	711	844	1741
FLA-11	1928	3997	2363	1019	1627	4430	1191	1041	ND
FLA-12	2170	ND	ND	294	875	525	564	1969	6529
FLA-13	599	505	1410	ND	258	530	275	304	1609
<b><i>Flavonas</i></b>									
FLN-14	281	319	146	267	694	241	705	551	275
FLN-15	426	494	221	341	452	381	427	424	359
<b><i>Flavonoles</i></b>									
FLO-16	293	564	247	482	544	457	181	222	444
FLO-17	ND	ND	247	ND	233	ND	241	ND	237
FLO-18	8075	8106	4428	5690	11426	3765	1985	5548	10749
FLO-19	7525	7823	4978	3024	5767	6835	6272	5886	7366
FLO-20	823	420	374	470	696	476	173	541	613
FLO-21	5087	5029	4612	5717	6767	5008	5277	6205	7206

Continuación cuadro 7.

Código	Compuestos	Fórmula molecular	RT (min)	Masa espera (Da)	Masa observada (Da)	Error de masa (ppm)
FLO-22	Kaempferol 3-O-xilosil-glucósido	C <sub>26</sub> H <sub>28</sub> O <sub>15</sub>	5.92	580.1428	580.14	-4.79
FLO-23	Miricetina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>8</sub>	4.92	318.0376	318.0346	-9.23
FLO-24	Miricetina 3-O-glucósido	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>13</sub>	4.51	480.0904	480.0877	-5.66
FLO-25	Miricetina 3-O-ramnósido	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>12</sub>	5.92	464.0955	464.0943	-2.52
FLO-26	3,7-Dimetilquercetina	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	6.52	330.074	330.0772	9.86
FLO-27	Isoramnetina	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	4.35	316.0583	316.0568	-4.64
FLO-28	Quercetina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	5.89	302.0427	302.0414	-4.25
FLO-29	Quercetina 3-O-(6-acetil-galactósido) 7-O-ramnósido	C <sub>29</sub> H <sub>32</sub> O <sub>17</sub>	5.53	652.1639	652.1583	-8.6
FLO-30	Quercetina 3-O-acetil-ramnósido	C <sub>23</sub> H <sub>22</sub> O <sub>12</sub>	6.77	490.1111	490.1097	-2.87
FLO-31	Quercetina 3-O-glucósilo-ramnosil-glucósido	C <sub>33</sub> H <sub>40</sub> O <sub>21</sub>	4.26	772.2062	772.2046	-2.03
FLO-32	Quercetina 3-O-ramnósido	C <sub>21</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub>	5.23	448.1006	448.1012	1.47
FLO-33	Quercetina 3-O-ramnósilo-glucósido	C <sub>33</sub> H <sub>40</sub> O <sub>20</sub>	5.74	610.1534	610.1524	-1.58
FLO-34	Quercetina 3-O-rutinósido	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	5.55	610.1534	610.1527	-1.17
FLO-35	Quercetina 3-O-soforosido	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>17</sub>	5.16	626.1483	626.148	-0.43
FLO-36	Quercetina 3-O-xilosil-rutinósido	C <sub>32</sub> H <sub>38</sub> O <sub>20</sub>	5.39	742.1956	742.1948	-1.13
<b>LIGNANOS</b>						
L-37	7-Hidroximatairesinol	C <sub>20</sub> H <sub>22</sub> O <sub>7</sub>	4.92	374.1366	374.1366	0.06
L-38	Secoisolariciresinol	C <sub>20</sub> H <sub>26</sub> O <sub>6</sub>	13.82	362.1729	362.1738	2.48
L-39	Siringaresinol	C <sub>22</sub> H <sub>26</sub> O <sub>8</sub>	4.97	418.1628	418.1606	-5.19
<b>OTROS POLIFENOLES</b>						
<i>Hidroxicoumarinas</i>						
HC-40	4-Hidroxicumarina	C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	6.84	162.0317	162.0314	-1.98
HC-41	Cumarina	C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	4.08	146.0368	146.0363	-3.37
HC-42	Ácido m-cumárico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	4.13	164.0473	164.0467	-3.74

Continuación cuadro 7.

Código	Abundancia (área bajo la curva)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
FLO-22	835	601	1254	214	1035	1363	1003	1135	1030
FLO-23	1132	996	704	1611	1865	708	1492	1825	963
FLO-24	986	913	395	906	969	551	698	945	888
FLO-25	551	791	668	255	626	630	779	615	1243
FLO-26	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	59
FLO-27	748	772	381	373	687	362	284	598	427
FLO-28	345	357	399	252	241	ND	308	265	677
FLO-29	777	512	490	831	586	484	679	ND	787
FLO-30	553	199	397	538	155	414	348	142	776
FLO-31	10946	10422	5256	6028	7936	7715	9380	6726	9087
FLO-32	350	381	306	242	422	289	375	457	533
FLO-33	297366	294470	196143	75148	199417	331234	215408	161776	262359
FLO-34	8632	7964	4191	4391	4206	3939	7079	7398	6273
FLO-35	4897	4208	2420	3648	4678	2716	5630	6824	3716
FLO-36	260422	244072	159111	102020	169272	296627	160843	136765	159022
<b>LIGNANOS</b>									
L-37	1521	1501	516	534	1095	1023	809	522	927
L-38	269	256	ND						
L-39	3763	4090	2289	5075	5204	2465	5264	7827	3896
<b>OTROS POLIFENOLES</b>									
<i>Hidroxicoumarinas</i>									
HC-40	12106	13124	2668	9593	32773	10180	26853	19620	6642
HC-41	737	734	330	776	645	464	492	832	815

Continuación cuadro 7.

Código	Compuestos	Fórmula molecular	RT (min)	Masa espera (Da)	Masa observada (Da)	Error de masa (ppm)
<b>Tirosoles</b>						
TE-43	3,4-DHPEA-AC	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	4.24	196.0736	196.0727	-4.65
TE-44	3,4-DHPEA-EA	C <sub>19</sub> H <sub>22</sub> O <sub>8</sub>	9.51	378.1315	378.1315	0.22
TE-45	3,4-DHPEA-EDA	C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O <sub>6</sub>	8.11	320.126	320.1262	0.79
TE-46	Hidroxitirosol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	2.15	154.063	154.0622	-5.11
TE-47	Hidroxitirosol 4-O-glucósido	C <sub>14</sub> H <sub>20</sub> O <sub>8</sub>	2.18	316.1158	316.1144	-4.63
TE-48	Oleosido dimetil ester	C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O <sub>11</sub>	4.07	418.1475	418.1475	0.04
TE-49	Oleuropeína	C <sub>25</sub> H <sub>32</sub> O <sub>13</sub>	5.65	540.1843	540.1853	1.85
TE-50	Demetil oleuropeína	C <sub>24</sub> H <sub>30</sub> O <sub>13</sub>	9.21	526.1686	526.1669	-3.31
TE-51	Tirosol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	4.01	138.0681	138.0679	-1.17
<b>ÁCIDOS FENÓLICOS</b>						
<b>Ácidos Hidroxibenzoicos</b>						
AH-52	Ácido 2,3-Dihidroxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	1.14	154.0266	154.0259	-4.65
AH-53	Ácido 2,4-Dihidroxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	1.94	154.0266	154.0258	-5.34
AH-54	2-Hidroxibenzoico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>8</sub>	1.21	300.0845	300.0835	-3.35
AH-55	Ácido 2-Hidroxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	1.22	138.0317	138.0311	-4.24
AH-56	Ácido 3,5-Dihidroxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	3.93	154.0266	154.0261	-3.62
AH-57	3-Hidroxibenzoico 4-O-glucósido		3.7	300.0845	300.0837	-2.78
AH-58	Ácido 3-Hidroxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	3.12	138.0317	138.0311	-4.18
AH-59	Ácido 4-Hidroxibenzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	6.67	138.0317	138.0314	-2.28
AH-60	Ácido 4-Hidroxibenzoico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>8</sub>	4.4	300.0845	300.0838	-2.49
AH-61	Ácido Benzoico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	4.01	122.0368	122.0363	-3.69
AH-62	Ácido Gálico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>10</sub>	1.47	332.0743	332.0726	-5.14
AH-63	Ácido Gálico etil ester	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	6.84	198.0528	198.0523	-2.74

Continuación cuadro 7.

Código	Abundancia (área bajo la curva)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
<b>Tirosoles</b>									
TE-43	6378	6607	2777	5549	7102	2110	3760	4141	4303
TE-44	17182	16371	11191	17889	14667	2888	12013	14126	18131
TE-45	2760	2492	2196	1593	2164	1814	2395	2144	3159
TE-46	467	457	261	425	490	353	450	504	364
TE-47	1021	935	634	1140	886	889	1101	1022	689
TE-48	1773	1638	1002	751	817	1014	605	935	1747
TE-49	3595	3520	3864	4845	5834	4594	5427	4532	4381
TE-50	564	508	627	221	820	552	ND	148	651
TE-51	120	113	201	220	204	232	257	405	260
<b>ÁCIDOS FENÓLICOS</b>									
<b>Ácidos Hidroxibenzoicos</b>									
AH-52	380	388	211	311	308	254	285	380	347
AH-53	829	812	1385	665	514	628	814	1310	1183
AH-54	3052	2328	1715	2402	1852	1574	1519	2483	1887
AH-55	2049	1958	1094	1617	1458	1113	1105	1735	1596
AH-56	4584	4226	2551	2188	2990	1798	2440	2627	4328
AH-57	2047	1719	1060	1021	1157	900	964	1086	1140
AH-58	707	656	403	335	558	350	424	471	704
AH-59	959	940	627	406	429	508	454	510	800
AH-60	ND	72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
AH-61	284	200	213	93	101	133	ND	ND	333
AH-62	414	374	196	219	269	197	125	159	272
AH-63	3360	3648	774	2762	9315	2933	7446	5392	1854

Continuación cuadro 7.

Código	Compuestos	Fórmula molecular	RT	Masa espera	Masa observada	Error de masa
			(min)	(Da)	(Da)	(ppm)
AH-64	Galoil glucosa	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>10</sub>	1.3	332.0743	332.0723	-6.13
AH-65	Ácido protocatéquico 4-O-glucósido	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>9</sub>	1.69	316.0794	316.0782	-4.03
<b>Ácidos hidroxicinámicos</b>						
AHC-66	Ácido 3,5-dicafeoilquínico	C <sub>25</sub> H <sub>24</sub> O <sub>12</sub>	6.29	516.1268	516.1268	0.02
AHC-67	Ácido 3-cafeoilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	2.55	354.0951	354.0947	-0.97
AHC-68	Ácido 3-p-cumaroilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	3.68	338.1002	338.099	-3.6
AHC-69	Ácido 3-sinapoilquínico	C <sub>18</sub> H <sub>22</sub> O <sub>10</sub>	3.76	398.1213	398.1181	-8.02
AHC-70	Ácido 4,5-dicafeoilquínico	C <sub>25</sub> H <sub>24</sub> O <sub>12</sub>	6.74	516.1268	516.1269	0.22
AHC-71	Ácido 4-cafeoilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	3.92	354.0951	354.0944	-2.04
AHC-72	Ácido 4-feruloilquínico	C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	5.12	368.1107	368.1107	-0.13
AHC-73	Ácido 4-p-cumaroilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	4.52	338.1002	338.0992	-2.78
AHC-74	Ácido 5-cafeoilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	4.17	354.0951	354.0946	-1.27
AHC-75	Ácido 5-feruolquínico	C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	5.6	368.1107	368.1109	0.46
AHC-76	Ácido 5-p-cumaroilquínico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	4.82	338.1002	338.0994	-2.24
AHC-77	Ácido cafeico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	4.18	180.0423	180.0415	-4.04
AHC-78	Cafeoil glucosa	C <sub>15</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	2.64	342.0951	342.0946	-1.32
AHC-79	Ácido cafeoil tartárico	C <sub>13</sub> H <sub>12</sub> O <sub>9</sub>	5.61	312.0481	312.0477	-1.28
AHC-80	Ácido cinámico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	1.47	148.0524	148.0518	-4.51
AHC-81	Ácido ferúlico	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	5.7	194.0579	194.0574	-2.4
AHC-82	Ácido ferúlico 4-O-glucósido	C <sub>16</sub> H <sub>20</sub> O <sub>9</sub>	3.69	356.1107	356.11	-2.07
AHC-83	Ácido isoferúlico	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	3.69	194.0579	194.0574	-2.74
AHC-84	Ácido o-cumárico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	4.81	164.0473	164.0468	-3.26
AHC-85	Ácido p-cumárico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	3.65	164.0473	164.0467	-3.9

Continuación cuadro 7.

Código	Abundancia (área bajo la curva)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
AH-64	1234	1063	738	892	879	820	1016	840	992
AH-65	1403	1293	1033	1504	1082	1204	1299	1549	1312
<b>Ácidos Hidroxicinámicos</b>									
AHC-66	5631	6234	5217	2901	8529	9643	8821	6158	6801
AHC-67	2708	2433	2094	1866	2051	2921	2186	2406	2237
AHC-68	196	135	ND						
AHC-69	305	271	210	260	225	ND	ND	133	364
AHC-70	6917	7157	5561	5942	6403	4331	27334	14387	15894
AHC-71	94993	76773	51452	70412	74265	61430	99477	96150	81094
AHC-72	2247	2218	2361	1920	2166	3121	2974	2305	2261
AHC-73	207	195	173	202	256	ND	176	188	ND
AHC-74	97803	97235	59218	63237	95579	87687	94769	83688	74876
AHC-75	1814	1607	1862	1046	1308	3483	1629	1236	1528
AHC-76	1455	2477	1554	ND	675	1673	ND	ND	ND
AHC-77	10808	10927	9169	4338	7600	12436	12350	12561	9913
AHC-78	53467	49079	21373	32443	35481	37925	33219	45379	36621
AHC-79	3234	3344	2413	2352	4507	3010	2050	2010	4251
AHC-80	11720	11400	6467	6136	6082	5035	4480	4426	7883
AHC-81	1584	1564	1203	261	438	952	891	1013	1294
AHC-82	8411	7589	2518	6926	7801	2770	3903	6136	5125
AHC-83	3573	3779	1135	3281	4257	1244	2061	3175	2896
AHC-84	ND	ND	ND	97	ND	ND	ND	ND	ND
AHC-85	717	506	299	477	480	381	341	461	371

Continuación cuadro 7.

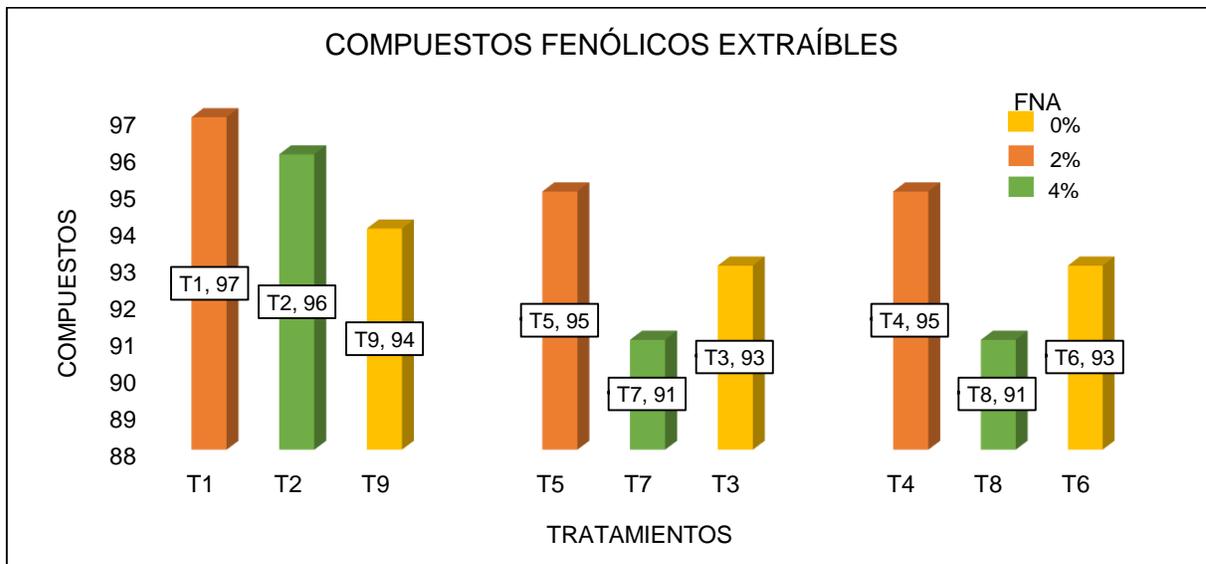
Código	Compuestos	Formula molecular	RT (min)	Masa espera (Da)	Masa observada (Da)	Error de masa (ppm)
AHC-86	p-Cumaroil glucosa	C <sub>15</sub> H <sub>18</sub> O <sub>8</sub>	4.11	326.1002	326.0995	-2.08
AHC-87	Ácido p-Cumaroil glicólico	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	3.88	222.0528	222.0519	-4.03
AHC-88	Ácido p-Cumaroil málico	C <sub>13</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	2.47	280.0583	280.0574	-3.16
AHC-89	Ácido p-Cumaroil tartárico	C <sub>13</sub> H <sub>12</sub> O <sub>8</sub>	1.23	296.0532	296.0523	-3.26
AHC-90	Ácido Rosmarínico	C <sub>18</sub> H <sub>16</sub> O <sub>8</sub>	6.84	360.0845	360.0847	0.58
AHC-91	Ácido Sinápico	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	4.11	224.0685	224.0676	-3.9
<b>Ácidos hidroxifenilpropanoicos</b>						
AHFP-92	Ácido Dehidrocafeico	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	3.7	182.0579	182.057	-5.03
AHFP-93	Ácido Dehidro-p-cumárico	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	3.74	166.063	166.0623	-4.07
<b>ÁCIDOS ORGÁNICOS</b>						
AO—94	Ácido Ascórbico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	0.54	176.0321	176.031	-6.3
AO-95	Ácido Cítrico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	0.66	192.027	192.0257	-6.98
AO-96	Ácido Fumárico	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>4</sub>	0.61	116.011	116.0101	-7.14
AO-97	Ácido Glucónico	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	0.57	196.0583	196.0566	-8.92
AO-98	Ácido Málico	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	0.61	134.0215	134.0204	-8.17
AO-99	Ácido Quínico	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	3.92	192.0634	192.0625	-4.54
AO-100	Ácido Shikímico	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	4.81	174.0528	174.052	-4.49
AO-101	Ácido Succínico	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>	0.87	118.0266	118.0258	-6.95

Continuación cuadro 7.

Código	Abundancia (área bajo la curva)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
AHC-86	45342	39892	25278	26605	25551	24202	18180	26814	32191
AHC-87	1293	1249	758	668	831	965	1051	914	855
AHC-88	12701	10245	6398	5269	8374	5182	5935	5242	10292
AHC-89	23925	19828	11590	9600	13590	9466	11165	8818	17525
AHC-90	221558	224933	57967	175392	505283	180351	423614	315045	118266
AHC-91	3465	3675	1756	1478	2061	1789	2148	2230	2671
<b>Ácidos hidroxifenilpropanoicos</b>									
AHFP-92	2974	2992	1597	1438	1344	1565	1046	1847	2977
AHFP-93	4365	4379	1927	3753	2660	1076	1498	3618	3724
<b>ÁCIDOS ORGÁNICOS</b>									
AO—94	520	439	588	644	660	877	469	502	366
AO-95	271896	250914	170044	231686	213833	190008	210551	226108	158301
AO-96	410	240	233	1176	762	104	710	804	183
AO-97	434	414	855	582	478	679	580	632	327
AO-98	640	363	503	2812	1494	187	1517	1612	279
AO-99	42096	40821	22373	33020	41409	29947	54612	48468	44500
AO-100	428	465	272	549	511	339	493	673	496
AO-101	663	518	1071	868	543	639	469	595	435

Para realizar mejor la comparación entre tratamientos, estos se agruparon de acuerdo al porcentaje de GA (Figura 7), siendo los tratamientos con 2 % de FNA (T<sub>1</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub>) los que encapsularon más compuestos bioactivos. Mientras que los tratamientos con 4% (T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>) con excepción del T<sub>2</sub> presentaron menor cantidad de compuestos.

Tanto los FNA y la GA preservaron los compuestos bioactivos de la salsa para pizza. Al disminuir la concentración de GA de 12 % hasta 8 % y aumentar los FNA de 2 a 4 % la cantidad y abundancia de compuestos bioactivos disminuye. Esto se puede deber que al aumentar los FNA (4 %) el tratamiento se vuelve higroscópico, adsorbiendo agua del ambiente y ocasionando la activación de reacciones bioquímicas no favorables para los microencapsulados. Jiménez-Sánchez *et al.* (2018a), mencionan que aumentar el porcentaje de FNA también podría aumentar la higroscopicidad.



**Figura 7.** Comparación de compuestos fenólicos extraíbles por tratamiento. Tratamientos agrupados de acuerdo al porcentaje de GA, 12 % GA (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>9</sub>), 10 % GA (T<sub>5</sub>, T<sub>7</sub> y T<sub>3</sub>) y 8 % GA (T<sub>4</sub>, T<sub>8</sub> y T<sub>6</sub>).

De los 101 compuestos bioactivos, el T<sub>1</sub> (2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) y T<sub>2</sub> (4 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) fueron los que encapsularon mayor cantidad de compuestos bioactivos, 97 y 96 respectivamente. El resto de los tratamientos presentaron entre 91 y 95 compuestos. Cabe resaltar que el microencapsulado T<sub>1</sub> fue el que obtuvo mayor contenido de compuestos bioactivos, mayor capacidad antioxidante y abundancia de compuestos fenólicos.

La conservación de los compuestos se puede deber a la baja actividad de agua y humedad que presentan los polvos. Estas condiciones favorecen a las salsas en polvo, evitando que interactúen enzimas oxidativas. Además, esto coincide con Espinosa-Andrews y Urías-Silvas, (2012) y Jiménez-Sánchez *et al.*, (2017, 2018a, 2018b), quienes reportan que los fructanos de agave brindan una protección térmica y encapsulante, así como estabilizante.

Existen pocos estudios que informen evaluaciones para compuestos fenólicos en productos a base de tomate. En el 2002, Re *et al.*, procesaron tomate fresco en pasta de tomate, reportando presencia de ácido clorogénico, glucósidos de ácidos hidroxicinámicos, rutina y naringenina. Capanoglu *et al.* (2008), elaboraron una pasta a partir de tomate reportando presencia de naringenina, ácido clorogénico y glucósidos de quercetina. Chanforan *et al.* (2012), estudiaron la estabilidad de los compuestos fenólicos durante la transformación industrial del tomate fresco en pasta de tomate y posteriormente pasta de tomate en salsa de tomate, reportando la identificación de nuevos derivados de ácido hidroxicinámico (ácido cafeico-4-O-glucósido, ácido p-cumárico-4-O-glucósido, ácidos dicafeoilquínico, feruloil, sinapoil y siringoil de quercetina apiosil- ramnosil- glucósido) y varios glucósidos de naringenina. En las salsas en polvo para pizza se identificó la presencia de rutina (quercetina 3-O-rutinósido), naringenina, glucósidos de quercetina y derivados del ácido hidroxicinámico.

Zavaleta *et al.* (2005) mencionan que los ácidos fenólicos derivados del ácido hidroxicinámico son los ácidos cafeico, ferúlico, p-cumárico y sináptico, presentes en vegetales. Los compuestos anteriores se presentaron en los nueve tratamientos de

salsa en polvo para pizza, siendo los ácidos hidroxicinámicos los compuestos más abundantes en los polvos. Zavaleta (2005) menciona que los flavonoides más abundantes en los vegetales son epigenina, luteolina, diosmetina, quercetina, mirecitina y kampferol. Los microencapsulados de salsa para pizza presentaron quercetina y glucósidos de quercetina, kampferol y glucósidos de kampferol.

En el año 2016, Elbadrawy y Sello analizaron los compuestos fenólicos presentes en la cáscara de tomate, encontrando ácidos fenólicos (cafeico, protocatéquico, vanílico, catequínico y gálico). Además, Valdez-Morales *et al.* (2014) encontraron los ácidos fenólicos (cafeico, vanílico, ferúlico, sináptico, clorogénico, p-cumárico, trans-cinámico y gálico) y flavonoides (quercetina-3-O- $\beta$ -glucósido, rutina, isorhamnetina, kaemferol, quingenina, quercetina, apigenina y miricetina). La mayoría de los compuestos mencionados anteriormente, se encontraron presentes en los tratamientos de salsa en polvo para pizza.

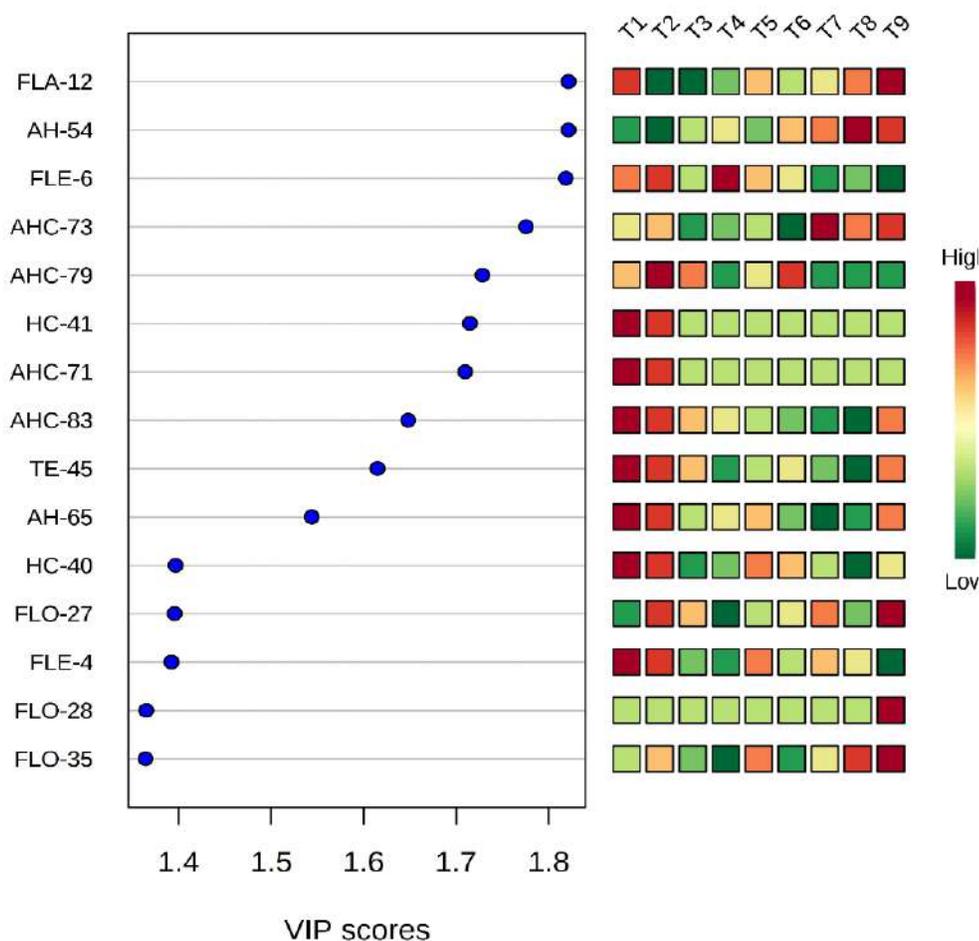
Vallverdú-Queralt *et al.* (2012) reportaron que la rutina (quercitina 3-O-rutinosido) es el flavonol predominante en los jugos de tomate, seguida de naringenina. Estos dos compuestos se encuentran presentes en los tratamientos de salsa en polvo para pizza.

Además, en el perfil metabolómico se encontraron compuestos pertenecientes al aceite de oliva como hidroxitirosol y tirosol en los nueve tratamientos, coincidiendo así con lo descrito por Shahidi y Naczk (2004), los cuales mencionan que el aceite de oliva presenta compuestos fenólicos como oleuropein, demetiloleoleuropein, tirosol, hidroxitirosol, 3,4-DHPE-AC, 4,3-DHPEA-EA, 3,4-DHPEA-EA, ligstrosido y varbascosido. En el presente trabajo no se encontraron los dos últimos compuestos reportados (Cuadro 7).

## 2.4.1. Análisis estadístico multivariado

### 2.4.1.1. Análisis de cuadrados mínimos parciales (PLS-DA)

En la Figura 8 se muestra el gráfico de puntuación VIP. La variable VIP (Variable Importance in Projection) es una suma ponderada de cuadrados de las cargas de PLS, teniendo en cuenta la cantidad de variación de Y explicada en cada dimensión. Las puntuaciones VIP se calculan para cada componente. El valor medio de la medición VIP es 1. Los cuadros de colores a la derecha de la Figura 8, indican las concentraciones relativas del metabolito correspondiente en cada tratamiento. Las tonalidades rojas indican mayor concentración y tonalidades verdes menor concentración del metabolito.



**Figura 8.** Representación de los metabolitos presentes en los nueve tratamientos en base a las puntuaciones VIP ( $VIP > 1$ ), identificadas por PLS-DA.

De los 101 compuestos identificados por UPLC-QTOF-MS, solo 15 metabolitos presentaron puntuación VIP > 1. Cinco metabolitos con VIP entre 1.3 y 1.4 y 10 metabolitos con VIP entre 1.5 y 1.9. A estos 15 metabolitos se les puede considerar como los más relevantes en los tratamientos o con mayor influencia por tener una puntuación mayor a 1. Los metabolitos con puntuación VIP < 1 se consideran con una influencia más débil en los microencapsulados (González-Torrivilla *et al.*, 2017).

Los 15 metabolitos identificados por puntuación VIP > 1 fueron, FLA-12 (eriocitrina), AH-54 (2-hidroxibenzoico 4-O-glucósido), FLE-6 (epi-catequina 3-O-glucosa), AHC-73 (ácido 4-p-cumaroilquínico), AHC-79 (ácido cafeoiltartárico), HC-41 (cumarina), AHC-71 (ácido 4-cafeoilquínico), AHC-83 (ácido isoferúlico), TE-45 (3,4-DHPEA-EDA), AH-65 (ácido protocatéquico), HC-40 (4-hidroxycumarina), FLO-27 (isoramnetina), FLE-4 (epi-galocatequina), FLO-28 (quercetina) y FLO-35 (quercetina 3-O soforósido). La mayoría de ellos ácidos hidroxicinámicos (AHC = 4 metabolitos), seguido de flavonoles (FLO = 3 metabolitos), ácidos hidroxibenzoicos (AH = 2 metabolitos), hidroxycumarinas (HC = 2 metabolitos), flavanoles (FLE = 2 metabolitos), flavanonas (FLA = 1 metabolito) y tirosoles (TE = 1 metabolito).

Los tratamientos que presentaron, con base a este modelo y gráfico de puntuación VIP, una alta concentración fueron el T<sub>1</sub> (2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD), T<sub>2</sub> (4 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) y T<sub>9</sub> (0 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) con 10, 12 y 9 metabolitos (tonalidades naranjas a guindas), respectivamente.

Sakakibara *et al.* (2003) mencionan que el ácido protocatéquico, ferúlico y cafeico se distribuyen ampliamente entre las plantas, incluidas las plantas comestibles. El ácido protocatéutico y derivados del ácido ferúlico y cafeico fueron identificados en los nueve tratamientos de salsa en polvo para pizza, considerados de mayor influencia o presencia en cada uno de ellos.

La quercitina se encuentra en frutas y verduras, se le considera que tiene potentes propiedades antioxidantes y es utilizada como un suplemento nutricional (Hajimahmoodi *et al.*, 2014). La eriocitrina se encuentra en el jugo de frutas cítricas y

también se le atribuyen propiedades antioxidantes (El-Shahawi *et al.*, 2006; Hajimahmoodi *et al.*, 2014). Estos dos metabolitos y sus derivados se encuentran presentes en los microencapsulados de salsa para pizza, en diferentes concentraciones, siendo la eriocitrina el metabolito con mayor puntuación VIP (VIP > 1.8) encontrada en mayor concentración en el microencapsulado T<sub>1</sub> (2 % FNA, 12 % GA y 12 % MD) y T<sub>9</sub> (0 % FNA, 12 % GA y 12 % MD). Por su parte, la quercitina y quercetina 3-O sofrósido presentaron menor puntuación VIP (VIP < 1.4) y una concentración mayor en el T<sub>9</sub>.

De los compuestos identificados pertenecientes al aceite de oliva y reportados por Shahidi y Naczki (2004), solo clasificó en base a la puntuación VIP > 1 el metabolito 3,4-DHPEA-EDA (forma dialdehídica del ácido elenólico unido al hidroxitirosol). Este metabolito presentó mayor concentración en los microencapsulados T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> (4 % FNA, 12 % GA y 12 % MD), los cuales en su formulación cuentan con FNA. También se identificó en menor concentración en el microencapsulado T<sub>9</sub> donde solo se utilizó MD-GA como materiales de pared. Esto se puede deber a la baja capacidad de emulsión de la maltodextrina (Gibbs *et al.*, 1999; Carneiro *et al.*, 2013; Quirino Lacerda *et al.*, 2016), ocasionando una mala encapsulación de este tipo de metabolitos presentes en el aceite de oliva. Mientras que los FNA demostraron que al combinarse con GA-MD mejoran la capacidad emulsificante en la salsa para pizza, logrando una mejor encapsulación de 3,4-DHPEA-EDA.

Las catequinas están relacionadas con una reducción del peso corporal y se ha descrito que algunos metabolitos derivados de la catequina inhiben la proliferación y diferenciación de adipocitos en estudios *in vitro* (Dulloo *et al.*, 1999; Hsu *et al.*, 2008; Vázquez-Cisneros *et al.*, 2017). Epi-catequina 3-O-glucosa (VIP > 1.8) se encuentra en mayor concentración en el microencapsulado T<sub>4</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub> todos ellos con la combinación FNA-MD-GA. La epi-galocatequina (VIP = 1.4) se encuentra en el microencapsulado T<sub>1</sub> (2 % de FNA, 12 % GA y 12 % MD) en mayor concentración. Con base a esto podemos comprobar que el adicionar FNA en los tramientos favoreció la encapsulación de los metabolitos.

Las cumarinas son compuestos antioxidantes a los que se les atribuyen propiedades farmacológicas como antitumoral, antiinflamatoria, antiviral, antimicrobiano y alzheimer (Al-Majedy *et al.*, 2019). La cumarina (HC-41) se diferenci6 con una puntuaci6n VIP mayor en comparaci6n a 4-Hidroxycumarina (HC-40), estos dos metabolitos se presentaron en mayor concentraci6n en el microencapsulado T<sub>1</sub>.

#### **2.4.1.2. Comparaci6n jer6rquica**

Para analizar las diferencias cuantitativas entre tratamientos con base al contenido de compuestos fen6licos y 6cidos org6nicos identificados por UPLC-QTOF-MS, se realiz6 un mapa de calor (Figura 9). Este tipo de gr6fico nos muestra la concentraci6n de un determinado compuesto en una muestra. Los valores de la escala van de 2 (guinda) a -2 (azul intenso). En la parte superior del gr6fico se representan los nueve tratamientos con diferentes colores (acotaci6n lado derecho).

Con base al mapa de calor donde se exponen todos los compuestos identificados (101), se pudo comprobar que los tratamientos que contenían FNA en su formulaci6n como material de pared, presentaron mayor concentraci6n de metabolitos que los tratamientos que solo estaban microencapsulados con GA-MD. El tratamiento en el que se identific6 mayor contenido y abundancia de compuestos bioactivos fue T<sub>1</sub> (2 % FNA 12 % GA 12 % MD) con metabolitos en la escala de 0 a 2, seguido del microencapsulado T<sub>2</sub> (4 % FNA 12 % GA 12 % MD) y T<sub>9</sub> (0 % FNA 12 % GA 12 % MD) con 73, 66 y 59 metabolitos, respectivamente. En la Figura 9 se puede apreciar que los microencapsulados con una concentraci6n de 12 % de GA (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>9</sub>) se encuentran agrupados y diferenciados del resto de los tratamientos.

Estas diferencias pueden deberse a la mayor concentraci6n de GA evaluada y a la interacci6n entre GA y FNA, así como al efecto protector de los FNA a altas temperaturas. Espinosa-Andrews y Urías-Silvas (2012) y Jiménez-Sánchez *et al.* (2018a y 2018b) mencionan que la GA y los FNA cuentan con propiedades como protectores t6rmicos y encapsulantes, motivo por el cual se pudiera proteger a los

compuestos termolábiles durante el proceso de secado y a los fotosensibles durante el almacenamiento.

En el microencapsulado T<sub>1</sub>, sobresalió la presencia de DF-1 (ácido dihidromiricetina-3-O-ramnósido), AHC-67 (ácido 3-cafeoilquínico), AH-60 (ácido 4-hidroxibenzoico 4-O-glucósido), AHC-71 (ácido 4-cafeoilquínico), AHFP-92 (ácido dihidrocafeico), AHC-89 (ácido tartárico *p*-cumaroil), AH-57 (3-hidroxibenzoico 4-O-glucósido), AHC-88 (ácido málico *p*-cumaroil), AH-58 (ácido 3-hidroxibenzoico), AO-98 (ácido málico), AH-62 (ácido gálico 4-O-glucósido), FLE-4 (epi-galocatequina), AH-65 (ácido protocatéquico) y FLO-22 (kaemferol 3-O-xilosil-glucósido), la mayoría de ellos ácidos fenólicos.



## **2.5. CONCLUSIÓN**

Los tratamientos que presentan mayor concentración de GA (12 %) en interacción con los FNA presentaron mayor contenido de fenoles solubles totales, así como una mayor cantidad y abundancia de compuestos bioactivos. Destacando el tratamiento con 2 % de FNA, 12 % de GA y 12 % de MD (T<sub>1</sub>). No hubo un efecto estadísticamente significativo de los materiales de pared en la actividad antioxidante ABTS+ y DPPH. La concentración de GA y la interacción cuadrática de FNA favoreció una mayor actividad antioxidante FRAP.

## 2.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadio, F.D.B., Domingues, A.M., Borges, S.V., Oliveira, V.M. (2004). Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice-effect of maltodextrin concentration and atomization speed. *Journal Food Engineering*, 64 (3): 285-287.
- Al-Majedy, Y.K., Ibraheem, H.H., Jassiim, L.S., Al-Amiery, A. (2019). Antioxidant activity of coumarine compounds. *Al-Nahraim Journal of Science*, 22(1): 1-8.
- Araujo-Díaz, S., Leyva-Porras, C, Aguirre-Bañuelos, P., Álvarez-Salas, C., Saavedra-Leos, Z. (2017). Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrina in the spray drying of blueberry juice. *Carbohydrate Polymers*, 167: 317-325.
- Arranz, S., Martínez-Huélamo, M., Vallverdu-Queralt, A., Valderas-Martínez, P., Illán, M., Sacanella, E., Escribano, E., Struch, R., Lamuela-Raventos, R.M<sup>a</sup>. (2015). Influence of olive oil on carotenoid absorption from tomato juice and effects on postprandial lipemia. *Food Chemistry*, 168: 203-210.
- Barbana, C., El-Omri, A. (2012). Viscometric behavior of reconstituted tomato concentrate. *Food Bioprocess Technology*, 5: 209-215.
- Bazaria, B., Kumar, P. (2018). Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology (RSM). *Journal of the Saudi of Agricultural Sciences*, 17: 408-415.
- Brand-Williams, W., Culivier, M.E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie. Food Science Technology*, 28 (1): 25-30.
- Bringas-Lantigua, M., Expósito-Molina, I., Reineccius, G.A., López-Hernández, O., Pino, J.A. (2011). Influence of spray-dryer air temperatures on encapsulated mandarin oil. *Drying Technology*, 29: 520-526.

- Bule, M.V., Singhal, R.S., Kennedy, J.F. (2010). Microencapsulation of ubiquinone-in carbohydrate matrices for improve stability. *Carbohydrate Polymers*, 82(1): 1290-1296.
- Burcin-Himmetagaoglu, A., Erbay, Z., Cam, M. (2018). Production of microencapsulated crem: Impact of Wall materials and their ratio. *International Dairy Journal*, 83: 20-27.
- Burton-Freeman, B., Talbot, J., Park, E., Krishnankutty, S., Edirisinghe, I. (2012). Protective activity of processed tomato products on postprandial oxidation and inflammation: A clinical trial in healthy weight men and women. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(4): 622-631.
- Burton-Freeman, B.M., Sesso, H.D. (2014). Whole food versus supplement: Comparing the clinical evidence of tomato intake and lycopene supplementation on cardiovascular risk factors. *Advances in Nutrition*, 5(5): 457-485.
- Cano-Chauca, M. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6: 420-428.
- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., De Vos, R. (2008). Changes in antioxidant and metabolite profiles during production of tomato paste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3): 964-973.
- Carneiro, H.C.F., Tonon, R.V., Grosso, C.R.F., Hubinger, M.D. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering*, 115(4): 443-451.
- Cevallos-Cevallos, J.M., Reyes-De-Corcuera, J.I., Etxeberria, E., Danyluk, M.D., Rodrick, G.E. (2009). Metabolomic analysis in food science: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20(11-12): 557-566.

- Cevallos-Cevallos, J.M., Reyes-De-Corcuera, J.I. (2012). Chapter One- Metabolomics in food science. *Advances in Food and Nutrition Research*, 67: 1-24.
- Chanforan, C., Loonis, M., Mora, N., Caris-Veyrat, C., Dufour, C. (2012). The impact of industrial processing of health-beneficial tomato microconstituents. *Food Chemistry*, 134: 1786-1795.
- Chin, E., Slupsky, C.M. (2013). Applications of metabolomics in food science: Food composition and quality, sensory and nutritional attributes. *Metabolomics in Food and Nutrition*, 217-230.
- Cichon, M.J., Riedl, K.M., Schwartz, S.J. (2017). A metabolomic evaluation of the phytochemical composition of tomato juices being used in human clinical trials. *Food Chemistry*, 228: 270-278.
- Daza, L.D., Fujita, A., Fávoro-Trindade, C.S., Rodrigues-Ract, J.N., Granato, D., Genovese, M.I. (2016). Effect of spraying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food and Bioproducts Processing*, 97: 20-29.
- Denardin, C.C., Hirsch, G.E., da Rocha, R.F., Vizzotto, M., Henriques, A.T., Moreira, J.C.F., Guma, F.T.C.R., Emanuelli, T. (2015). Antioxidant capacity and bioactive compounds of four Brazilian native fruits. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23: 387-398.
- Diantom, A., Curti, E., Carini, E., Vittadini, E. (2017). Effect of added ingredients on water status and physico-chemical properties of tomato sauce. *Food Chemistry*, 236: 101-108.
- Duarte Augusto, P.E., Falguera, V., Cristianini, M., Ibarz, A. (2013). Viscoelastic properties of tomato juice: Applicability of the cox-merz rule. *Food and Bioprocess Technology*, 6: 839-843.

- Dulloo, A.G., Duret, C., Rohrer, D., Girardier, L., Mensi, N., Fathi, M., Chantre, P., Vandermander, I. (1999). Efficacy of a green tea extract rich in catechin polyphenols and caffeine in increasing 24-h energy expenditure and fat oxidation in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(6):1040-1045.
- Elbadrawy, E., Sello, A. (2016). Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arabian Journal of Chemistry*, 9: 1010-1018.
- El-Shahawi, M.S., Bashammakin, A.S., El-Mogy, T. (2006). Determination of trace levels of diosmin in a pharmaceutical preparation by adsorptive stripping voltammetry at a glassy carbon electrode. *Journal Analytical Sciences*, 22: 1351-1354.
- Espinoza-Andrews, H., Urías-Silvas, J.E. (2012). Thermal properties of agave fructans (*Agave tequilana* Weber var. Azul). *Carbohydrate polymers*, 87: 2671-2676.
- Fernandes, L.P., Turatti, I.C.C., Lopes, N.P., Ferreira, J.C., Candido, R.C., Oliveira, W.P. (2008). Volatile retention and antifungal properties of spray-dried micro particles of *Lippia sidoides* essential oil. *Drying Technology*, 26(12): 1534-1542.
- Figueroa, P.M., Ceballos, M., Hurtado, A. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraída con CO<sub>2</sub> supercrítico. *Revista Colombiana Química*, 45(2): 39-47.
- Figueroa, J.A., Pereira, J.M.A., Porto-Figueroa, P., Cámara, J.S. (2017). Ultrasound-assisted liquid-liquid extraction followed by ultrahigh pressure liquid chromatography for the quantification of major carotenoids in tomato. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57: 87-93.
- Fonnegra R., Jiménez, S.L. (2007). Plantas medicinales aprobadas en Colombia. 2ª edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. pp. 193-195.
- Frank, T., Engel, H. (2013). Chapter 8- Metabolomic analysis of plants and crops. Technische Universität München, Germany.

- Gibbs, B.F., Kermasha, S., Alli, I., Mulligan, C.N. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50: 213-224.
- Gokhale, S.V., Lele, S.S. (2011). Dehydration of red beet root (*Beta vulgaris*) by hot air drying: process optimization and mathematical modeling. *Food Science and Biotechnology*, 20(4): 955-964.
- González Torrivilla, C., Hernández, C., Vaillant Barka, F. (2017). Análisis de un jugo de mora (*Rubus adenotrichos*) endulzado con estevia (*Stevia rebaudina* Bertoni), una aproximación metabolómica. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*, 20(1): 121-129.
- Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. (2012). A new technique for spray-dried encapsulation of lycopene. *Drying Technology*, 30(6): 641-652.
- Guerra-Cantú, J.A., Moreno-Limón, S., Martínez-Rodríguez, A., Gómez-González, H., Núñez-González, M.A., Moreno-Buentello, O.M. (2016). Determinación de pigmentos en orégano (*Poliomintha bustamanta* B.L. Turner) en dos condiciones de crecimiento. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 353-359.
- Hajimahmoodi, M., Moghaddam, G., Mousavi, S.M., Sadeghi, N., Reza Oveisi, M., Jannat, B. (2014). Total antioxidant activity, and hesperidin, diosmin, eriocitrin and quercetin contents of various lemon juices. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13(6): 951-956.
- Hsu, C.H., Tsai, T.H., Kao, Y.H., Hwang, K.C., Tseng, T.Y., Chou, P. (2008). Effect of green tea extract on obese women: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Clinical Nutrition*, 27: 363-370.
- Jiménez-Sánchez, D.E., Calderón-Santoyo, M., Picart-Palmade, L., Luna-Solano, G., Ortiz-Basurto, R.I., Bautista-Rosales, P.U., Ragazzo-Sánchez, J.A. (2017). Effect of addition on native agave fructans on spray-dried chayote (*Sechium edule*) and

pineapple (*Ananas comosus*) juices: Rheology, microstructure, and water sorption. *Food and Bioprocess Technology*, 10 (11): 2069-2080.

Jiménez-Sánchez, D.E., Calderon-Santoyo, M., Ortiz-Basurto, R.I., Bautista-Rosales, P.U., Ragazzo-Sanchez, J.A. (2018a). Effect of maltodextrin reduction and native agave fructans addition on the physicochemical properties of spray-dried mango and pineapple juices. *Food Science and Technology International*, 24(6): 519-532.

Jiménez-Sánchez, D.E., Calderón-Santoyo, M., Picart-Palmade, L., Bautista-Rosales, P.U., Barros-Castillo, J.C., Ragazzo-Sánchez, J.A. (2018b). Chapter 6. Effect of maltodextrin reduction and native agave fructans addition on the rheological behavior of spray-dried juices. *Polymer Rheology*, 119-131.

Jiménez-Sánchez, D.E. (2018c). Efecto de la adición de una mezcla de fructanos nativos de agave y maltodextrina en la elaboración de un producto en polvo en su estabilidad al ser reconstituido. Instituto Tecnológico de Tepic. Tesis Doctoral. México.

Kim, S., Kim, J., Yun, E.J., Kim, K.H. (2016). Food metabolomics: from farm to human. *Current Opinion in Biotechnology*, 37: 16-23.

López-Sánchez, P., de Vos, R.C.H., Jonker, H.H., Mumm, R., Hall, R.D., Bialek, L., Leenman, R., Strassburg, K., Vreeken, R., Hankemeier, T., Schumm, S., van Duynhoven, J. (2015). Comprehensive metabolomics to evaluate the impact of industrial processing on the phytochemical composition of vegetable purees. *Food Chemistry*, 168: 348-355.

Lu, Z., Wang, J., Gao, R., Ye, F., Zhao, G. (2019). Sustainable valorization of tomato pomace: A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology*, 86: 172-187.

Medeiros Theóphilo Galvão, A.M., de Oliveira Araújo, A.W., Veloso Carneiro, S., Audino Zambelli, R., Rocha Bastos, M. do S. (2018). Coating development with

modified starch and tomato powder for application in frozen dough. *Food Packaging and Shelf Life*, 16: 194-203.

Millán-Cardona L., Cardona-Salazar B., Herrera M.J., Arbeláez R.D., Gutiérrez M.D. (2010). Análisis sensorial e instrumental (textura) a una salsa agrídulce de borjé. *Revista Lasallista de investigación*. Colombia. 7(1): 36-41.

Moelants, K.R.N., Cardinaels, R., Jolie, R.P., Verrijssen, T.A.J., Van Buggenhout, S., Van Loey, A.M., Moldenaers, P., Hendrickx, M.E. (2014). Rheology of concentrated tomato-derived suspensions: Effects of particle characteristic. *Food Bioprocess Technology*, 7: 248-264.

Motilva, M.J., Maciá, A., Romero, M.P., Labrador, A., Domínguez, A., Peiró, L. (2014). Optimisation and validation of analytical methods for the simultaneous extraction of antioxidants: Application to the analysis of tomato sauces. *Food Chemistry*, 163: 234-243.

Nolazco, D., Téllez, L., Capa, K. (2015). Influencia de la concentración de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) en el tiempo de vida en anaquel del aceite de oliva (*Olea europaea*) extravirgen. *Ingeniería Industrial*, 33: 251-263.

Ortiz-Basurto R.I., Rubio-Ibarra M.E., Ragazzo-Sánchez J.A., Beristain C.I., Jiménez-Fernández M. (2017). Microencapsulation of *Eugenia uniflora* L. juice by spray drying using fructans with different degrees of polymerisation. *Journal Carbohydrate Polymers*, 175: 603-609.

Palomo, I., Fuentes, E., Padró, T., Badimon, L. (2012). Platelets and atherogenesis: platelet antiaggregating activity and endothelial protection from tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Experimental and Therapeutic Medicine*, 3: 577-584.

Paucar-Menacho, L.M., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., Capa-Robles, J., Moreno-Rojo, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sacha inchi (*Plutenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europea*) y aceite crudo de pescado. *Scientia Agropecuaria*, 6(4): 279-290.

- Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Taberner, M., Díaz-Rubio, M.E., Serrano, J., Goñi, I., Saura-Calixto, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extrataction, measurement and expression of results. *Food Research International*, 41(3): 274-285.
- Perveen, R., Suleria, H.A.R., Anjum, F.M., Butt, M.S., Pasha, I., Ahmad, S. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims - A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55: 919-929.
- Pinu, F.R. (2016). Early detection of food pathogens and food spoilage microorganisms: Application of metabolomics. *Trends in Food Science and Technology*, 54: 213-215.
- Pryor, W. A. (1976). Free Radicals in biology. Academia Press. New York. pp. 1 -3.
- Quirino Lacerda, E.C., de Araújo Calado, V.M., Monteiro, M., Finotelli, P.V., Guedes Torres, A., Perrone, D. (2016). Starch, inulin and maltodextrin as encapsulating agents affect the quality and stability of jussara pulp microparticles. *Carbohydrate Polymers*, 151: 500-510.
- Ramos-Hernández, J.A., Ragazzo-Sánchez, J.A., Calderón-Santoyo, M., Ortiz-Basurto, R.I, Prieto, C., Lagaron, J.M. (2018). Use of electrosprayed agave fructans as nanoencapsulating hydrocolloids for bioactives. *Nanomaterials*, 8, 868-879.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10): 1231-1237.
- Re, R., Bramley, P.M., Rice-Evans, C. (2002). Effects of food processing on flavonoids and lycopene status in mediterranean tomato variety. *Free Radical Research*, 36: 803-810.

- Reineccius, G.A. (2006). Flavor Chemistry and Technology 2 ed.; CRC Press: Boca Raton, FL.
- Rinaldoni, A.N., Campderros, M.E., Pérez-Padilla, A. (2012). Physico-chemical and sensory properties of yogurt from ultrafiltered soy milk concentrate added with inulin. *LWT- Food Science and Technology*, 45: 142-147.
- Rodríguez-González, S., Gutiérrez-Ruiz, I. M., Perez-Ramirez, I. F., Mora, O., Ramos-Gómez, M., Reynoso-Camacho, R. (2017). Mechanisms related to the anti-diabetic properties of mango (*Mangifera indica* L.) juice by-product. *Journal of Functional Foods*, 37: 190-199.
- Saini, R.K., Nile, S.H., Park, S.W. (2015). Carotenoids from fruits and vegetables: chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International*, 76(3): 735-750.
- Shahidi, F., Naczk, M. (2004). Phenolics in Food and Nutraceuticals. CRC Press. Washington, D.C., pp. 111-113.
- Sakakibara, H., Honda, Y., Nakagawa, S., Ashida, H., Kanazawa, K. (2003). Simultaneous determination of all polyphenols in vegetables, fruits, and teas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 571-581.
- Sarika, P. R., Cinthya, K., Jayakrishnan, A., Anilkumar, P. R., James, R. N. (2014). Modified gum arabic cross-linked gelatin scaffold for biomedical applications. *Materials Science and Engineering*, 43: 272-279.
- Scalzo, J., Politi, A., Mezzetti, B., Battino, M. (2005). Plant genotype affects TAC and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, 21: 207-213.
- Singleton, V.R., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152-178.

- Tomas, M., Beekwilder, J., Hall, R.D., Sagdic, O., Boyacioglu, D., Capanoglu, E. (2017). Industrial processing versus home processing of tomato sauce: Effects on phenolics, flavonoids and *in vitro* bioaccessibility of antioxidants. *Food Chemistry*, 220: 51-58.
- Tomas, M., Beekwilder, J., Hall, R.D., Diez Simon, C., Sagdic, O., Capanoglu, E. (2018). Effect of dietary fiber (inulin) addition on phenolics and *in vitro* bioaccessibility of tomato sauce. *Food Research International*, 106: 129-135.
- Valdez-Morales, M., Espinosa-Alonso, L.G., Espinoza-Torres, L.C., Delgado-Vargas, F., Medina-Godoy, S. (2014). Phenolic content and antioxidant and antimutagenic activities in tomato peel, seeds, and by products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62: 5281-5289.
- Vallverdú-Queralt, A., Arranz, S., Medina-Remón, A., Casals-Ribes, I., Lamuela-Raventós, R. M. (2011a). Changes in phenolic content of tomato products during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(17): 9358-9365.
- Vallverdú-Queralt, A., Medina-Remón, A., Casals-Ribes, I., Lamuela-Raventós, R.M. (2012). Is there any difference between the phenolic content of organic and conventional tomato juices?. *Food Chemistry*, 130: 222-227.
- Vázquez-Cisneros, L.C., López-Uriarte, P., López-Espinoza, A., Navarro-Meza, M., Espinoza-Gallardo, C., Guzmán-Aburto, M.B. (2017). Efectos del té verde y su contenido de galato de epigallocatequina (EGCG) sobre el peso corporal y la masa grasa en humanos. Una revisión sistemática. *Nutrición Hospitalaria*, 34(3): 731-737.
- Wishart, D. (2008). Metabolomics: Applications to food science and nutrition research. *Trends in Food Science and Technology*, 19: 482-493.
- Xu, S. Pegg, R.B., Kerr, W.L. (2016). Physical and chemical properties of vacuum belt dried tomato powders. *Food Bioprocess Technology*, 9: 91-100.

- Yan, B., Martínez-Montegudo, S.I., Cooperstone, J.I., Riedl, K.M., Schwartz, S.J., Balasubramaniam, V.M. (2017). Impact of thermal and pressure-based technologies on carotenoid retention and quality attributes in tomato juice. *Food and Bioprocess Technology*, 10: 808-818.
- Yen, G.H., Chen, H.Y. (1995). Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43: 27-32.
- Yépez-Hernández, F.J., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Delgadillo-Martínez, J., Mendoza-López, M.R., García-Barradas, O. (2016). Fertilización nitrogenada en el crecimiento, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de albahaca. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 39 (1): 33-40.
- Zavaleta, J., Muñoz, A.M., Blanco, T., Alvarado-Ortiz, C., Loja, B. (2005). Capacidad antioxidante y principales ácidos fenólicos y flavonoides de algunos alimentos. *Horizonte Médico*, 5(2): 29-38.
- Zu, K., Mucci, L., Rosner, B.A., Clinton, S.K., Loda, M., Stampfer, M.D., Giovannucci, E. (2014). Dietary lycopene, angiogenesis, and prostate cancer: A prospective study in the prostate-specific antigen Era. *Journal of the National Cancer Institute*, 106(2): 1-10.

## CONCLUSIONES GENERALES

- La interacción de los materiales de pared FNA-GA-MD, aunada con una alta concentración de GA mejoran las características fisicoquímicas, incrementando el rendimiento y tamaño de partícula en comparación a los tratamientos encapsulados solamente con GA-MD. Además, la interacción de los tres materiales de pared favoreció la disminución del contenido de humedad y  $a_w$ , así como como el índice de Carr e índice de Hausner, mejorando la fluidez.
- La concentración de GA y la interacción de GA-FNA favoreció un mayor contenido de compuestos solubles fenólicos. No hubo un efecto estadísticamente significativo de los materiales de pared en la actividad antioxidante ABTS+ y DPPH. La concentración de GA y la interacción cuadrática de FNA favoreció una mayor actividad antioxidante FRAP.
- Los tratamientos que presentan mayor concentración de GA (12 %) en interacción con los FNA presentaron una mayor cantidad y abundancia de compuestos bioactivos. Destacando el tratamiento con 2 % de FNA, 12 % de GA y 12 % de MD (T<sub>1</sub>).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Introducción general)

- Akdeniz, B., Kavak, D.D., Bagdatlioglu, N. (2012). Use of factorial experimental design for analyzing the effect of storage conditions on color quality of sundried tomatoes. *Scientific Research and Essays*, 7(4): 477-489.
- Bhandari, B.R., Datta, N., Howes, T. (1997a). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15(2): 671-685.
- Bhandari, B.R., Datta, N., Crooks, R., Howes, T., Rigby, S. (1997b). A semi-empirical approach to optimize the quantity of drying aids required to spray dry sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15(10): 2509-2525.
- Burg, J. C. (1998). Piecing together the pizza puzzle. *Food Product Design*, 58.
- Burcin-Himmetagaoglu, A., Erbay, Z., Cam, M. (2018). Production of microencapsulated cream: Impact of wall materials and their ratio. *International Dairy Journal*, 83: 20-27.
- Cortes R. M., Ciro H.J., Rodríguez S.E., Largo A.E. (2012). Secado por aspersión de concentrado de caña panelera: Una tecnología apropiada para mejorar la competitividad de la caña. VITAE. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 19(1): 51-53.
- Espinoza-Andrews, H., Urías-Silvas, J.E. (2012). Thermal properties of agave fructans (*Agave tequilana* Weber var. Azul). *Carbohydrate polymers*, 87: 2671-2676.
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A., Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Journal Food and Bioproducts Processing*, 90: 667-675.
- Figuroa, P.M., Ceballos, M., Hurtado, A. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraída con CO<sub>2</sub> supercrítico. *Revista Colombiana Química*, 45(2): 39-47.

- Figuerola, J.A., Pereira, J.M.A., Porto-Figuerola, P., Cámara, J.S. (2017). Ultrasound-assisted liquid-liquid extraction followed by ultrahigh pressure liquid chromatography for the quantification of major carotenoids in tomato. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57: 87-93.
- Ghezan G. (2000). Trayectoria y demandas tecnológicas de las cadenas agroindustriales en el Mercosur Ampliado-Hortalizas: Tomate fresco y procesado. Organización y Gestión de la Integración Tecnológica Agropecuaria y Agroindustrial en el Cano Sur. Uruguay. pp. 1-82.
- Gonçalves, V.S.S., Rodríguez-Rojo, S., De Paz, E., Mato, C., Martín, A., Cocero, M.J. (2015). Production of water soluble quercetin formulations by pressurized ethyl acetate-in-water emulsion technique using natural origin surfactants. *Food Hydrocolloids*, 51: 295-304.
- Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2012). A new technique for spray-dried encapsulation of lycopene. *Drying Technology*, 30(6): 641-652.
- Janiszewska, E. (2014). Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. *Powder Technology*, 264: 190-196.
- Janiszewska-Turak, E. (2017). Carotenoids microencapsulation by spray drying method and supercritical micronization. *Food Research International*, 99: 891-901.
- Jiménez-Sánchez, D.E., Calderón-Santoyo, M., Picart-Palmade, L., Luna-Solano, G., Ortiz-Basurto, R.I., Bautista-Rosales, P.U., Ragazzo-Sánchez, J.A. (2017). Effect of addition on native agave fructans on spray-dried chayote (*Sechium edule*) and pineapple (*Ananas comosus*) juices: Rheology, microstructure, and water sorption. *Food and Bioprocess Technology*, 10 (11): 2069-2080.
- Jiménez-Sánchez, D.E., Calderon-Santoyo, M., Ortiz-Basurto, R.I., Bautista-Rosales, P.U., Ragazzo-Sanchez, J.A. (2018a). Effect of maltodextrin reduction and native agave fructans addition on the physicochemical properties of spray-dried mango

and pineapple juices. *Food Science and Technology International*, 24(6): 519-532.

Jiménez-Sánchez, D.E., Calderón-Santoyo, M., Picart-Palmade, L., Bautista-Rosales, P.U., Barros-Castillo, J.C., Ragazzo-Sánchez, J.A. (2018b). Chapter 6. Effect of maltodextrin reduction and native agave fructans addition on the rheological behavior of spray-dried juices. *Polymer Rheology*, 119-131.

KHIDI. (2014). Food industry analysis report.

Kim, H.J., Chung, S.J., Kim, K.O., Nielsen, B., Ishii, R., O'Mahony, M. (2018). A cross-cultural of acceptability and food pairing for hot sauces. *Appetite*, 123: 306-316.

Lagóstena-Barrios, L. (2001). La producción de salsas y conservas de pescado en la Hispania Romana (II a.C. – VI d.C.). Proyecto amphorae, bajo los auspicios de la Real Academia de la Historia. Ediciones Univesitat Barcelona. España, pp. 1-503.

Millán-Cardona L., Cardona-Salazar B., Herrera M.J., Arbeláez R.D., Gutiérrez M.D. (2010). Análisis sensorial e instrumental (textura) a una salsa agrdulce de borjój. *Revista Lasallista de investigación*, 7(1): 36-41.

Motilva, M.J., Maciá, A., Romero, M.P., Labrador, A., Domínguez, A., Peiró, L. (2014). Optimisation and validation of analytical methods for the simultaneous extraction of antioxidants: Application to the analysis of tomato sauces. *Food Chemistry*, 163: 234-243.

Nachay, K. (2011). Highflying sauces. *Food Technology*, 65: 41-51.

Ortiz-Basurto R.I., Rubio-Ibarra M.E., Ragazzo-Sánchez J.A., Beristain C.I., Jiménez-Fernández M. (2017). Microencapsulation of *Eugenia uniflora* L. juice by spray drying using fructans with different degrees of polymerisation. *Journal Carbohydrate Polymers*, 175: 603-609.

- Perveen, R., Suleria, H.A.R., Anjum, F.M., Butt, M.S., Pasha, I., Ahmad, S. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims - A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55: 919-929.
- Ramos-Hernández, J.A., Ragazzo-Sánchez, J.A., Calderón-Santoyo, M., Ortiz-Basurto, R.I, Prieto, C., Lagaron, J.M. (2018). Use of electrosprayed agave fructans as nanoencapsulating hydrocolloids for bioactives. *Nanomaterials*, 8: 868-879.
- Roberfroid, M.B., Delzenne, N.M. (1998). Dietary fructans. *Annual Review of Nutrition*, 18: 117-143.
- Rosero-Velasco D.F., Ramírez-Navas J.S. (2007). Salsa de Tomate: Manejo de sólidos y fluidos. Tecnología en Alimentos. Universidad del Valle. pp. 1-31.
- Saini, R.K., Nile, S.H., Park, S.W. (2015). Carotenoids from fruits and vegetables: chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International*, 76 (3): 735-750.
- Shishir, M.R.I., Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Journal Trends in Food Science and Technology*, 65: 49-67.
- Töpfer, N., Kleessen, S., Nikoloski, Z. (2015). Integration of metabolomics data into metabolic networks. *Frontier in Plant Science*, 6: 1-13.
- Turchiuli, C., Gianfrancesco, A., Palzer, S., Dumoulin, E. (2011). Evolution of particle properties during spray drying in relation with stickiness and agglomeration control. *Powder Technology*, 208: 433-440.
- Vila, M.M., Chaud, M. V., Balcao, V.M. (2015). Microencapsulation of natural anti-oxidant pigments. *Microencapsulation and microspheres for food applications*, 369-389.