

**Optimización de extracción y
microencapsulación de carotenoides totales de
tomate (*Solanum lycopersicum* var. Manzano.)
mediante secado por aspersión.**

Daniel Edoardo Viera Alonso

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Optimización de extracción y
microencapsulación de carotenoides totales de
tomate (*Solanum lycopersicum* var. Manzano.)
mediante secado por aspersión.**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Daniel Edoardo Viera Alonso

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2018

Optimización de extracción y microencapsulación de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Manzano.) mediante secado por aspersión.

Daniel Edoardo Viera Alonso

Resumen. En este estudio se optimizó la extracción y microencapsulación de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum*) mediante secado por aspersión. El estudio consistió en dos fases con el fin de determinar el punto óptimo para la extracción y microencapsulación del compuesto bioactivo. En la fase 1 (uno) se optimizó la extracción de carotenoides y licopeno de tomate mediante un diseño factorial rotacional completo con tres variables dependientes y una variable independiente ($P < 0.10$): temperatura de extracción (28 y 31 °C), relación acetona-hexano (78 y 84%) y tiempo (0.06 – 0.14 hrs). El valor óptimo en el estudio de concentración de carotenoides y licopeno extraídos fue 3404.5 mg/100 g de tomate y se obtuvo con una temperatura de 29.7 °C, relación acetona-hexano de 80.56% y tiempo de 0.11 horas. En la fase 2 (dos) del estudio se optimizó la microencapsulación de carotenoides y licopeno mediante un diseño factorial rotacional completo con dos variables dependientes y dos variables independientes ($P < 0.10$): Temperatura de aire de entrada (176 – 210 °C) y temperatura de aire de salida (98-102 °C). El valor óptimo se obtuvo con temperatura de aire de entrada de 185.8 °C y temperatura de aire de salida de 101 °C, obteniendo una eficiencia de encapsulación de 40.10% y rendimiento en el secado por aspersión de 18.76%.

Palabras clave: Eficiencia, extracción, licopeno, punto óptimo, rendimiento de encapsulación, temperatura de entrada.

Abstract. In this study, the extraction and microencapsulation of total carotenoids from tomatoes (*Solanum lycopersicum*) was optimized by spray drying. The study was divided in two phases in order to determine the optimum value for the extraction and microencapsulation of the bioactive compound. The first phase consisted on the extraction of carotenoids and lycopene optimized by a Fractional Factorial and Central Composite Rotational Design with three dependent variables and one independent variable ($P < 0.10$): extraction temperature (28 to 31 °C), ratio of acetone-hexane (78 to 84%) and time (0.06 to 0.14 hr). The optimum value in the process of concentration of carotenoids and lycopene was 3404.5 mg/100 g of tomatoes with a temperature of 29.7 °C, 80.56% of ratio of acetone-hexane and 0.11 hours. In the second phase, the microencapsulation of carotenoids and lycopene was optimized by a Fractional Factorial and Central Composite Rotational Design with two dependents variables and two independent variables ($P < 0.10$): air inlet temperature (176 to 210 °C) and air outlet temperature (98 to 102 °C). The optimum values of air inlet temperature and air outlet temperature were 185.8 °C and 101 °C, respectively. These values resulted in an encapsulation efficiency of 40.10% and encapsulation yield in the spray dryer of 18.76%.

Key words: Encapsulation yield, extraction, inlet temperature, lycopene, microencapsulation efficiency, optimum value.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
4. CONCLUSIONES.....	23
5. RECOMENDACIONES.....	10
6. LITERATURA CITADA	11
7. ANEXOS	12

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descripción del diseño experimental.....	5
2. Niveles de las variables independientes para la extracción de carotenoides	
Totales.	6
3. Diseño Experimental completo (Valores codificados y reales)	6
4. Formulación de tratamientos según diseño para la extracción de carotenoides	
Totales.	7
5. Concentración de carotenoides totales extraído para el diseño ½ de fracción	11
6. Coeficientes de regresión para concentración de carotenoides totales de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) en función de temperatura (°C) (X ₁), relación acetona-hexano (%) (X ₂) y tiempo (h) (X ₃).	12
7. Rendimiento y Eficiencia de microencapsulación de carotenoides totales mediante secado por aspersión.	17
8. Coeficientes de regresión para rendimiento de microencapsulación de carotenoides totales en función de temperatura de salida (°C) (X ₁) y temperatura de entrada (°C) (X ₂).....	18
9. Coeficientes de regresión para eficiencia de microencapsulación de carotenoides totales en función de temperatura de salida (°C) (X ₁) y temperatura de entrada (°C) (X ₂).....	20
Figuras	Página
1. Efecto del tiempo (h) y Relación acetona-hexano (%) respecto a la concentración de carotenoides totales de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>).....	14
2. Efecto de Temperatura (°C) y Relación acetona-hexano (%), con respecto a la concentración de carotenoides totales de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>).	15
3. Efecto de la relación temperatura (°C) y tiempo (h), con respecto a la concentración de carotenoides totales de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>).....	16
4. Función de utilidad con respecto a las variables temperatura (°C), relación acetona-hexano (%) y tiempo (h).	16
5. Efecto de la temperatura de salida (°C) y la temperatura de entrada al sistema (°C) en relación al rendimiento de encapsulación de carotenoides totales de tomate.	19
6. Efecto de temperatura de entrada (°C) y temperatura de salida (°C), con respecto a la eficiencia de la microencapsulación.	21

Figuras	Página
7. Función de utilidad con respecto a las variables Temperatura de Entrada (°C) y Temperatura de Salida (°C).....	22

Anexos	Página
1. Tabla de distribución de valor F ($P < 0.10$).....	29
2. Estructura química del licopeno.....	29
3. Rango de lectura de espectrofotometría.....	30
4. Máquina spray Dryer.....	30
5. Materiales de extracción de Carotenoides totales.....	30
6. Fórmula de capacidad de carga de maltodextrina.....	30
7. Fórmula de dosis recomendada.....	30

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria alimentaria ha evolucionado buscando nuevas formas de proveer componentes específicos como: proteínas, carbohidratos, grasas y fibras que pueden contener los granos, frutas y vegetales, incorporándolos en otros alimentos que no los poseen de forma natural o en cantidades no significativas, con el objetivo que el consumidor pueda aprovechar los aportes nutritivos y benéficos sobre la salud que estos pueden aportar (Lupano 2013).

El tomate (*Solanum lycopersicum*) perteneciente a la familia de la Solanaceae, es la hortaliza con mayor demanda en Honduras y el mundo por su alto nivel nutritivo y sus diferentes usos en áreas industriales, culinarias y medicinales (FHIA 2015). Las pérdidas de este producto representan un 20% de la producción anual del mismo. Esto sucede porque el mismo no cumple los parámetros de calidad que la industria requiere para su procesamiento, por tanto, mucho del material no es utilizado y descartado (Ferratto *et al.* 2009).

Aparte de vitamina C, el tomate contiene algunos micronutrientes y cantidades considerables de carotenoides. El licopeno es el caroteno responsable de brindar el color rojo a algunas frutas y vegetales, dependiendo de la variedad y estado fisiológico (Ordoñez *et al.* 2009). Este es liposoluble, con dobles enlaces conjugados en su estructura, no presenta cadenas cíclicas y no es sintetizado por el humano (Fernández *et al.* 2007). El licopeno se encuentra presente en otros frutos como la sandía, fresas, toronjas, guayabas, papayas, entre otras (Cruz *et al.* 2013).

Con estas nuevas cualidades que aporta el tomate, su comercialización se hizo más popular y así mismo la creación de alimentos funcionales los cuales llevan una cantidad significativa de licopeno para que tuvieran efecto sobre la salud del consumidor. Sin embargo, durante la elaboración de estos alimentos se reducen estos componentes por tratamientos y procesos severos a los cuales fueron sometidos causando inactivación de enzimas, desnaturalización, modificaciones en la solubilidad, color, entre otros (Lupano 2013).

Actualmente, las ciencias de la salud han enfocado sus esfuerzos en encontrar estrategias eficaces para prevenir Enfermedades Crónicas No Transmisibles (ECNT), que se han convertido en las primeras causas de muertes en todo el mundo (Serra 2016). Esta problemática ha llamado la atención de los científicos a nivel mundial a fin de buscar las alternativas en los alimentos, utilizando componente bioactivos que puedan tener la capacidad de mejorar la calidad de vida (Valenzuela *et al.* 2007).

El licopeno como componente tiene varias capacidades antioxidantes, lo cual, disminuye o inhibe la proliferación celular y elimina el singlete de oxígeno y los radicales de peroxilo derivados del estrés oxidativo. Este es un carotenoide que se encuentra principalmente en el tomate, además cuenta con otras propiedades; antiinflamatorias, y quimioterapéuticas sobre enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y algunos tipos de cáncer (Cruz *et al.* 2013).

El licopeno es un carotenoide que tiene una estructura acíclica y es isómero del β -caroteno, pero carece de actividad pro-vitamina A. Este compuesto en altas cantidades (30 mg/día) pueden generar productos de descomposición pro-oxidativa, sin embargo, en bajas cantidades (6 mg/día) podría aliviar la metaplasia (Cruz *et al.* 2013). El objetivo de microencapsular es utilizar compuestos para convertir moléculas liposolubles, miscibles en agua y así aprovechar los beneficios que estos ofrecen en diferentes matrices (Parra 2010).

Las maltodextrinas son polímeros formados por unidades de D-glucosa unidas mediante enlaces glicosídicos. Son provenientes del almidón de maíz o papa las cuales tienen un pH de 4.5 – 5.5 al mezclarse con agua desionizada. Este componente es una mezcla entre dextrosa, maltosa, oligo y polisacáridos. Las maltodextrinas son obtenidas vía enzimática y se encuentran comercialmente como un polvo blanco amorfo de sabor y olor característicos, con buena solubilidad en matrices líquidas, con un poder edulcorante y se considera que tiene un elevado índice glucémico (Manuchar 2017).

Para fines del estudio, se determinaron los siguientes objetivos:

- Identificar el punto óptimo para obtener la mayor concentración de carotenoides y licopeno de tomate en el proceso de extracción por medio de solventes orgánicos.
- Determinar el punto óptimo para obtener la mayor eficiencia y rendimiento de microencapsulación de carotenoides y licopeno presentes en el tomate.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio.

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos, Planta de Innovación de alimentos del Departamento de Agroindustria Alimentaria y en el Laboratorio de Química de Curriculum General en la Escuela Agrícola Panamericana.

Fase I. Optimización de la concentración de carotenoides totales de tomate en el proceso de extracción.

Eliminación de la humedad de tomate fresco. Para la eliminación de agua de los tomates frescos se cortaron en julianas con un grosor de 0.8 cm. Luego, en un deshidratador eléctrico marca Harvest Saver, modelo HS-R-SS-1-E, a una temperatura de bulbo seco de 140 °F (60 °C), una temperatura de bulbo húmedo de 140 °F(60 °C) y a una velocidad de 3 rps (revoluciones por segundo) durante 24 h (Monsalve y Machado 2007). Luego por medio de un molino de martillos se redujo el tamaño de partícula entre 0.5 y 1.7 mm (Cardona *et al.* 2006).

Extracción de carotenoides totales. Una vez el tomate fue deshidratado y disminuído su tamaño de partícula; para la extracción de licopeno, se pesó en una balanza analítica 1g de harina de tomate, 0.5g de celite® (tierra diatomea). Luego se procedió a mezclar la muestra hasta que esta quedo completamente homogeneizada y se colocó en un recipiente graduado de vidrio de 150 mL. Consecuentemente, se procedió a agregar 2 mL de agua destilada y desionizada hasta crear una pasta y estabilizar el pH a 7. Dicha pasta fue lavada hexano-acetona (1:1.5) y se mezcló en el agitador magnético durante 3, 6, 9 y 10.8 minutos. Después del lavado, se dejó reposar la mezcla sólido-solvente hasta observar una separación de fases. El lavado se realizó tres veces con hexano. Una vez realizada la separación de fases, se extrajeron los carotenoides totales en dilución de hexano (Nellis *et al.* 2016).

Cuantificación de extracto de carotenoides totales. Una vez obtenida la muestra se prepararon diluciones para obtener la concentración por medio de espectrofotometría; para esto se realizaron diluciones en hexano-acetona de 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} donde 10^{-1} tuvo un mejor resultado en lectura. Para obtener la cuantificación de carotenoides y licopeno se utilizó el espectrofotómetro marca Agilent Technologies Cary 8454 UV-Vis. Se colocó en una celda de 2.5 mL un blanco utilizando una relación 1.5:1 de hexano-acetona. El rango de lectura para el estudio fue de 400-600 nm, obteniendo la absorbancia en los picos de 446 nm, 471 nm y 503 nm. El cual en el pico 471 nm brindó la mejor absorbancia (Rodriguez-Amaya y Kimura 2004).

Se determinó la concentración de carotenoides totales de acuerdo a la ecuación 1.

$$\text{teoría de Carotenoides} \left(\frac{\text{ml}}{100\text{g}} \right) = \left(\frac{A \times V \times 1.000.000}{\text{Coeficiente de extinción molar} \times M \times 100} \right) \quad [1]$$

Donde:

A= absorbancia de la solución en la longitud de onda de 470 nm para el licopeno;

V = volumen final de la solución; coeficiente de extinción o coeficiente de absorción molar de un pigmento en un determinado disolvente específico (3450 para el licopeno);

M = masa de la muestra tomada para el análisis.

Una vez obtenida la concentración, se procedió a multiplicar el resultado por la densidad del licopeno como factor de corrección según la ecuación 2.

$$\text{Factor de corrección} \left(\frac{\text{g}}{100\text{g}} \right) = ((\text{Concentración})(\text{Densidad del licopeno})) \quad [2]$$

Donde:

Densidad de licopeno: 0.889g/cm³

Diseño experimental.

Fase I. Optimización de la extracción de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Manzano). Se utilizó un experimento factorial completo 2³ estadísticamente delineado en la metodología de superficie de respuesta con un diseño de composición central rotacional de 2do orden (DCCR). Los parámetros del proceso se codificaron (- 1, 0, +1), esto de acuerdo con la ecuación 3.

$$xi = Xi - \frac{z}{\Delta xi} \quad [3]$$

Dónde:

xi = Valor codificado de la variable *Xi*,

Xi = Valor real de la variable, **z** = Valor real de la variable en el punto central,

Δxi = Valor del intervalo de variación de *xi*

Para obtener un entorno experimental más acotado se delinearón las variables axiales -α y +α, este valor depende del número factorial (F = 2k), donde k es el número de variables independientes (k= 3), los valores son definidos por la ecuación 4:

$$\alpha = (F)^{1/4} = (2k)^{1/4} = 1.682 \quad [4]$$

El número de unidades experimentales para esta metodología fue un diseño factorial completo definido por la ecuación 5.

$$n=2^k+2k+m \quad [5]$$

Dónde:

2^k = número de puntos factoriales,

$2k$ = número de puntos axiales,

m = número de réplicas del punto central 4

Se utilizaron tres variables independientes y tres niveles codificados usando un total de 20 unidades experimentales, siendo ocho factoriales, combinación de los niveles -1 y +1, seis axiales - α y + α y seis puntos centrales sirviendo como estimado del error experimental y determinando la precisión del modelo matemático (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción del diseño experimental.

Expresión	Tratamientos	Cantidad de puntos
$2^k = 2^3$	8	Factoriales
$2k = 2 \times 3$	6	Axiales
M	6	Centrales

Box y Draper 1959)

El análisis de los resultados experimentales se describe como el comportamiento de un sistema en el que se combinan dos variables independientes y una variable dependiente, donde la respuesta fue una función de los niveles en los que se combinan (Box y Draper 1959), como se determina en la ecuación 6.

$$Y_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad [6]$$

Se realizó también un análisis de regresión para ajustar un polinomio de segundo orden con las variables independientes para cada variable respuesta. La expresión general utilizada para predecir el comportamiento de una respuesta es descrita en la ecuación 7.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \epsilon \quad [7]$$

Dónde:

Y_i = Función respuesta,

X_1, X_2 y X_3 = Valores de las variables independientes

β_0 = Coeficiente relativo con la interpretación del eje,

β_1, β_2 y β_3 = Coeficientes lineales estimados por el método de mínimos cuadrados,

β_{11}, β_{22} y β_{33} = Coeficientes de variables cuadráticas,

β_{12} = Interacción entre variables independientes, ϵ = Error experimental.

El arreglo del modelo propuesto se evaluó por el método “regresión por pasos” y el análisis de residuos se clasificó como “Falta de Ajuste”, la comparación de la proporción de la varianza explicada por el modelo, es decir por el R^2 . Así los coeficientes de la ecuación 5 del mejor modelo polinomio, fueron ajustados a las respuestas del diseño experimental

(Moro 2013). Los niveles de las variables independientes son descritos como niveles, axiales ($\alpha = 1.682$), niveles factoriales y puntos centrales (Cuadro 2), estos son referentes a las proporciones utilizadas.

Cuadro 2. Niveles de las variables independientes para la extracción de carotenoides totales.

Variables	Niveles				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Temperatura	21.59	25.00	30.00	35.00	38.41
% Acetona-hexano	71.59	75.00	80.00	85.00	88.41
Tiempo	0.02	0.05	0.10	0.15	0.18

El delineamiento del experimento comprende la expresión completa de todas las variables independientes codificadas y decodificadas las cuales fueron usadas para la obtención de los análisis de varianza y coeficientes de regresión, así como para la diagramación de la superficie de respuesta respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diseño Experimental completo (Valores codificados y reales).

Tratamientos	Valores codificados			Valores reales		
	X1	X2	X3	x1	x2	x3
1	-1	-1	-1	25	75.0	0.05
2	-1	-1	1	25	75.0	0.15
3	-1	1	-1	25	85.0	0.05
4	-1	1	1	25	85.0	0.15
5	1	-1	-1	35	75.0	0.05
6	1	-1	1	35	75.0	0.15
7	1	1	-1	35	85.0	0.05
8	1	1	1	35	85.0	0.15
9	-1.68	0	0	21.59	80.0	0.1
10	1.68	0	0	38.41	80.0	0.1
11	0	-1.68	0	30	71.6	0.1
12	0	1.68	0	30	88.4	0.1
13	0	0	-1.68	30	80.0	0.0159
14	0	0	1.68	30	80.0	0.1841
15 ©	0	0	0	30	80.0	0.1
16 ©	0	0	0	30	80.0	0.1
17 ©	0	0	0	30	80.0	0.1
18 ©	0	0	0	30	80.0	0.1
19 ©	0	0	0	30	80.0	0.1
20 ©	0	0	0	30	80.0	0.1

© Puntos centrales, X1 y x1 = Temperatura (°C), X2 y x2 = Acetona-Hexano (%), X3 y x3 = Tiempo (h).

En el cuadro 4, para efectos de visualización, en las variables independientes se elaboraron las formulaciones con sus respectivas proporciones y medidas.

Cuadro 4. Formulación de tratamientos según diseño para la extracción de carotenoides totales.

Tratamientos	Temperatura (°C)	Relación Acetona Hexano		t (horas)
		Acetona (mL)*	Hexano (mL)*	
1	25	12.93	4.31	0.05
2	25	12.93	4.31	0.15
3	25	13.55	2.39	0.05
4	25	13.55	2.39	0.15
5	35	12.93	4.31	0.05
6	35	12.93	4.31	0.15
7	35	13.55	2.39	0.05
8	35	13.55	2.39	0.15
9	21.59	13.28	3.32	0.1
10	38.41	13.28	3.32	0.1
11	30	12.66	5.02	0.1
12	30	13.70	1.79	0.1
13	30	13.28	3.32	0.0159
14	30	13.28	3.32	0.1841
15 ©	30	13.28	3.32	0.1
16 ©	30	13.28	3.32	0.1
17 ©	30	13.28	3.32	0.1
18 ©	30	13.28	3.32	0.1
19 ©	30	13.28	3.32	0.1
20 ©	30	13.28	3.32	0.1

© Puntos centrales.

*Valores expresados con unidades reales.

Fase II. Optimización de la microencapsulación de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum*) mediante método de secado por aspersión.

Extracción de carotenoides totales. Para la extracción de la muestra se siguió el procedimiento siguiendo la metodología descrita en la sección I de fase de extracción del compuesto.

Evaporación de la muestra. La solución de carotenoides totales y hexano fue llevada a un rotovapor para concentrar la muestra. Las condiciones de evaporación fue de 10 °C en el condensador, presión de vacío, en baño maría a 37 °C, a una velocidad de 40 revoluciones por minuto. Una vez concentrada la muestra, se lavaron los cristales obtenidos con hexano y se transfirieron a un beaker de 250 ml, cuidando que éste estuviese bien protegido de la luz ya que los carotenoides son fotosensibles. Para protegerlo, se utilizó papel aluminio y se le perforó la parte superior para que el hexano se evaporara y los cristales fueran fáciles de extraer (Nunes y mercadante 2004).

Emulsificación. Se preparó una solución de agua con maltodextrina a 10, 20, 30 y 40%, y se dejó reposar por 24 h. La prueba de emulsión fue necesaria para determinar la cantidad de sólidos que debe estar presente en la solución donde las concentraciones que brindaron los mejores resultados fueron 10 y 20% de sólidos.

Preparación de muestra para encapsulación. Una vez concentrados los carotenoides y licopeno en los recipientes graduados de vidrio, se procedió a preparar la muestra que fue consecuentemente deshidratada. Para la preparación de la muestra fue necesario la utilización de aceite, ya que el licopeno es liposoluble e hidrofóbico. En este caso, se utilizó aceite de canola, y se preparó una solución de 10% de aceite + licopeno, 20% de emulsificante (Tween 20) y 70% de agua destilada (con 10% de maltodextrina), la muestra se agitó durante 6 minutos en un agitador magnético.

Microencapsulación de carotenoides totales. La muestra se microencapsuló en un secador por aspersión a escala de laboratorio Labplant SD-Basic, UK. El extracto ingresó por la manguera hacia el atomizador mediante el funcionamiento de una bomba peristáltica, posteriormente hacia la cámara primaria, donde las partículas más pesadas y el desecho quedaron suspendidas, mientras que las que cumplieron con el peso y tamaño adecuado se almacenaron en la cámara de salida. La presión de aire de funcionamiento fue de tres (3) atmósferas, el caudal de alimentación fue 26.75 ml por minuto y la temperatura varió en cada tratamiento (Da Silva *et al.* 2016).

Evaluación de rendimiento de encapsulación. Para evaluar el rendimiento de encapsulación del secador por aspersión se tomó el peso de licopeno presente en los recipientes graduados de vidrio antes de la encapsulación. Una vez la muestra encapsulada, se procedió a diluirla y se midió la absorbancia en el espectrofotómetro. Para determinar la cantidad de carotenoides presentes en la solución que fue encapsulado se utilizó la ecuación 1 y 2. Una vez obtenida la cantidad de licopeno soluble se procedió a realizar el cálculo utilizando la ecuación 8 (Jun *et al.* 2010, Cardona *et al.* 2006, Rodríguez-Amaya y Kimura 2004).

$$RE (\%) = \frac{PLf}{PLo} \times 100 \quad [8]$$

Donde:

RE: Rendimiento de encapsulación.

PLo: Peso del licopeno agregado inicial

PLf: peso del licopeno final

Evaluación de eficiencia. Se evaluó la eficiencia del microencapsulado obtenido mediante la relación del peso del licopeno encapsulado sobre la cantidad en masa aplicada de maltodextrina en la solución (agua destilada), para esto se utilizó la ecuación 9 (Penalva *et al.* 2014).

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{PL_0}{PCf} \times 100 \quad [9]$$

Donde:

PL₀ = Peso de licopeno.

PCf = Peso de capsula.

Diseño experimental. Este modelo presenta dos niveles axiales, codificados como + α y – α. El valor alfa depende del número factorial (F= 2k) del diseño y del número de variables independientes (k=2), en el caso de este experimento se define por la ecuación 10 (Rodrigues 2015).

$$\pm\alpha = (F)^{1/4} = (2k)^{1/4} = (22)^{1/4} = 1.414 \quad [10]$$

El número de tratamientos del experimento se basó en un diseño factorial completo, ecuación 11.

$$n = 2^k + 2k + m \quad [11]$$

Dónde:

2^k = número de puntos factoriales.

2k = número de puntos axiales.

m = número de repeticiones del punto central.

Los tratamientos se distribuyeron de la siguiente forma:

2^k = 2² = 4 puntos factoriales.

2k = 2×2 = 4 puntos axiales.

m = 3 repeticiones del punto central.

Total = 11 unidades experimentales.

La significancia del modelo propuesto se definirá como predictivo o tendencioso evaluado por el análisis de los residuos y explicada por la comparación de la proporción de la varianza (R²), la significancia de la “Falta de Ajuste” y la comparación del Valor F calculado contra el Valor F tabular para una significancia del 10% (Rodrigues 2015).

Además, se realizó un análisis de regresión para describir un polinomio de segundo orden con las variables independientes por cada variable dependiente. La expresión general utilizada para poder describir el comportamiento de la variable dependiente está descrita en la ecuación 12.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \epsilon \quad [12]$$

Dónde:

Y_i = Función respuesta.

X_1, X_2 = Valores de variables independientes.

β_0 = Coeficiente del intercepto del eje Y.

β_1, β_2 = Coeficientes lineales encontrados por el método de mínimo cuadrados.

β_{11}, β_{22} = Coeficientes de variables cuadráticas.

β_{12} = Coeficiente de interacción entre variables independientes.

ϵ = Error del experimento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase I. Optimización de la extracción de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum* var. Manzano).

Para encontrar el punto óptimo de extracción de licopeno se realizó un diseño de 1/2 fracción bajo el análisis de superficie de respuesta, en el cual se utilizaron las variables temperatura (°C), relación acetona-hexano (%) y tiempo (h), la concentración obtenida según cada tratamiento se expresó en g/100 g (Cuadro 5).

Cuadro 5. Concentración de carotenoides totales extraídos para el diseño 1/2 de fracción.

Tratamiento	Temperatura	Relación Acetona Hexano		t (horas)	Carotenoides totales (g/100g)
		Acetona (mL)	Hexano (mL)		
1	25	12.93	4.31	0.05	2.76
2	25	12.93	4.31	0.15	3.1
3	25	13.55	2.39	0.05	2.86
4	25	13.55	2.39	0.15	2.71
5	35	12.93	4.31	0.05	3.1
6	35	12.93	4.31	0.15	2.97
7	35	13.55	2.39	0.05	3.09
8	35	13.55	2.39	0.15	3.1
9	21.59	13.28	3.32	0.1	3.09
10	38.41	13.28	3.32	0.1	3.1
11	30	12.66	5.02	0.1	2.83
12	30	13.70	1.79	0.1	3.08
13	30	13.28	3.32	0.0159	2.82
14	30	13.28	3.32	0.1841	2.9
15 ©	30	13.28	3.32	0.1	3.16
16 ©	30	13.28	3.32	0.1	3.52
17 ©	30	13.28	3.32	0.1	3.67
18 ©	30	13.28	3.32	0.1	3.56
19 ©	30	13.28	3.32	0.1	3.4
20 ©	30	13.28	3.32	0.1	3.05

© Puntos centrales

El modelo fue clasificado como significativo y predictivo ya que presentó un coeficiente de determinación inferior a 30% ($R^2 = 70.2\%$). El R^2 encontrado en la investigación para la extracción de licopeno demostró que 70.20% de los datos fueron predichos por el modelo. También, el modelo fue clasificado como predictivo ya que el F calculado fue mayor que el F tabular (Teba 2014). Se realizó la prueba F con 10% de significancia, obteniendo 2.690 de valor F calculado, por lo que al compararse con la F tabular de 2.416 se identificó la validez para graficar la respuesta. La falta de ajuste fue otro parámetro que demostró un modelo tendencioso, ya que éste no fue significativo (Cuadro 6). En los modelos de regresión, la falta de ajuste se presenta cuando el modelo no logra describir de manera adecuada la relación entre las variables independientes y la variable dependiente (Rodrigues 2015). Una falta de ajuste puede ocurrir si no se toman en cuenta factores importantes, tales como interacciones o términos cuadráticos. Todos los factores indicaron que el modelo propuesto tuvo significancia estadística y que los datos pudieron ser ajustados siendo éste capaz de identificar las respuestas dentro de la región experimental delimitada dentro del estudio (Thompson 1982).

Cuadro 6. Coeficientes de regresión para concentración carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum*) en función de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) (X_1), relación acetona-hexano (%) (X_2) y tiempo (h) (X_3).

Factor	Coefficiente de Regresión
Intercepto	-43.0101 [^]
X_1 (L)	0.4013
X_1 (Q)	-0.0041
X_2 (L)	0.9985 [^]
X_2 (Q)	-0.0060 [^]
X_3 (L)	4.1463
X_3 (Q)	-73.6596 [^]
$X_1 * X_2$	-0.0017
$X_1 * X_3$	-0.1503
$X_2 * X_3$	0.2062
Falta Ajuste	0.1040
R^2	0.57
F. calculado	2.765
F. tabular	2.416

Los coeficientes marcados con [^], son clasificados como significativos ($P < 0.10$).

L = relación lineal, Q = relación cuadrática.

X_1 = Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), X_2 = relación acetona-hexano (%), X_3 = tiempo (h).

A continuación, se muestra la ecuación matemática que representó la concentración de carotenoides y licopeno obtenidas (mg/L); el polinomio expresado es cuadrático de segundo orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas presentes en la ecuación 13.

$$\text{Carotenoides } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = (-43.0101) + 0.998X_1^2 - 73.6596X_2^2 \quad [13]$$

Donde:

X₁= Temperatura (°C).

X₂= relación acetona-hexano (%).

X₃= tiempo (h).

Las superficies de respuesta mostradas por el modelo propuesto, demostraron diferentes interacciones entre las variables independientes y el punto óptimo para la extracción de licopeno. Este es un carotenoide el cual cuenta con una polaridad que lo hace soluble en otros compuestos orgánicos como la acetona, pero con una mayor afinidad específica a compuestos como hexano, éter de petróleo, entre otros (Rodríguez-Amaya y Kimura 2004). El licopeno es insoluble en agua, por tanto, la mezcla de agua con diferentes solventes orgánicos, provoca que no exista una homogenización completa de las partículas (INSHT 2007); sin embargo, este reacciona de manera positiva ante la acetona ya que los β-carotenos son solubles en este compuesto orgánico, se le añadió consecuentemente hexano ya que el licopeno presenta mayor afinidad por este compuesto que por acetona. (Rodríguez-Amaya 2001).

En las variables tiempo (h) y relación acetona-hexano (%), el punto óptimo encontrado fueron 80% y 0.11 h, según la figura 1. El tiempo tiene un efecto negativo a largo plazo, ya que mientras más expongamos el licopeno a la acetona, el solvente tiende a desintegrar el compuesto reduciendo de esta manera los niveles presentes en la solución (Rodríguez-Amaya y Kimura 2004). La relación acetona-hexano es un factor importante al momento de realizar la extracción de los carotenoides y licopeno, esto se debe a que este como carotenoide es soluble en acetona. Sin embargo, la afinidad de este compuesto es mayor por el hexano. Por tanto, es necesario un porcentaje de hexano en la muestra para realizar la correcta extracción del compuesto (Nellis *et al.* 2016).

Al destruir la célula con la molienda del tomate respectivamente seco, se facilita la extracción ya que el compuesto pasa a ser más disponible y debido a la solubilidad del compuesto en el solvente orgánico (acetona); el aumento de este compuesto tiende a aumentar la cantidad del fitoquímico en la solución (Meléndez *et al.* 2004).

Solventes no inmiscibles en agua son ideales para la extracción de componentes bioactivos en productos deshidratados. Por el contrario, productos con alta cantidad de agua se utilizan solventes que si son miscible en agua. Sin embargo, se obtiene una mayor eficiencia en concentración de licopeno y carotenoides, cuando el producto ha sido deshidratado y rehidratado nuevamente con acetona, este penetra bien en la textura de los alimentos. La permanencia de la muestra con acetona por mucho tiempo puede contribuir a la degradación del compuesto (Rodríguez-Amaya y Kimura 2004).

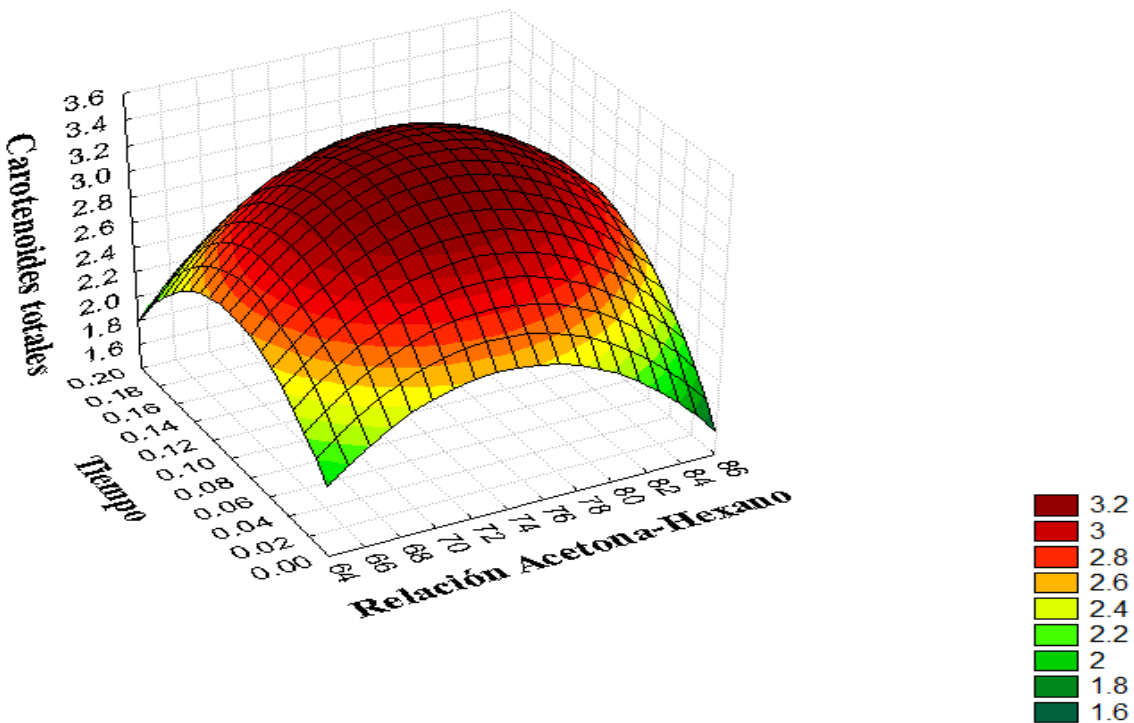


Figura 1. Efecto del tiempo (h) y relación acetona-hexano (%) respecto a la concentración de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum*).

Según la figura 2, la relación en las variables; temperatura (°C) y relación acetona-hexano (%) predice que existe un punto medio entre los puntos axiales donde se encuentra la mejor combinación para encontrar la mayor concentración. Se observa en la figura 2 cómo el aumento en la relación acetona-hexano entre 78 y 84% y una temperatura entre 28 y 31 °C obtiene los mayores niveles de carotenoides totales. La temperatura al momento de la extracción es un factor muy importante. Para realizarla, la acetona se debe calentar previamente a 35 °C al realizar la mezcla, previamente se almacenó la muestra a bajas temperaturas, ya que el licopeno en acetona se deteriora lentamente ($T < 5\text{ °C}$) (Choksi y Joshi 2007).

De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2008), factores como la existencia de un gran número de carotenoides, variabilidad cualitativa y cuantitativa de la composición de los alimentos, variación en las cantidades de carotenoides dentro de un mismo alimento, distribución no uniforme de los carotenoides entre muestras, la naturaleza variable de las matrices alimenticias, entre otros, son ejemplos de factores que hacen que el análisis de carotenoides dentro de un alimento sea muy difícil. Además, existen fuentes comunes de errores en estos análisis, como: extracción incompleta, pérdidas físicas ocurridas durante el procesamiento, identificación equivocada, errores de cuantificación o cálculo, degradación oxidativa durante el análisis o almacenamiento de la muestra, entre otros.

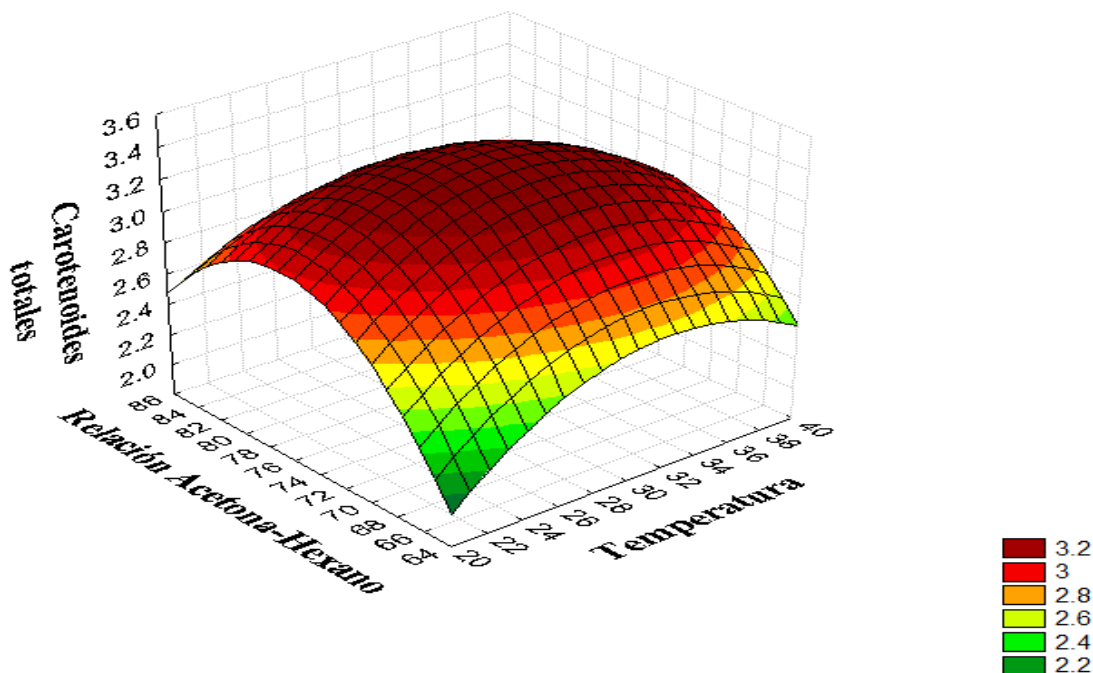


Figura 2. Efecto de temperatura (°C) y relación acetona-hexano (%), con respecto a la concentración de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum*).

La cantidad de carotenoides presentes en los alimentos se ven afectadas por diferentes factores como el tipo de cultivo o la variedad, parte de la planta, estado de maduración, clima o sitio geográfico de producción, cosecha y manejo pos cosecha, temperaturas de almacenamiento, procesos, entre otros (Rodríguez 2001).

En las variables temperatura (°C) y tiempo (h), la figura 3 indica que existe una mayor concentración de carotenoides totales en la muestra a medida que la temperatura no sobrepase los 40 °C esto se debe a que los carotenoides totales son un compuesto termosensible y al verse expuesto a altas temperaturas la estructura de estos tiende a desnaturalizarse. Al momento de la extracción, es necesario realizar un precalentado a 35 °C para evitar el proceso de evaporación, esto permitirá una mejor extracción y por ende una mayor concentración de licopeno (Choksi y Joshi 2007). Se observó que el tiempo tiene un efecto similar al de la temperatura. El tiempo de reposo es importante al momento de la extracción, tomando en cuenta que, los carotenoides son solubles en acetona. A medida que pasa la acetona en contacto con el tomate deshidratado, aumenta la extracción del mismo (Kabori *et al.* 2010).

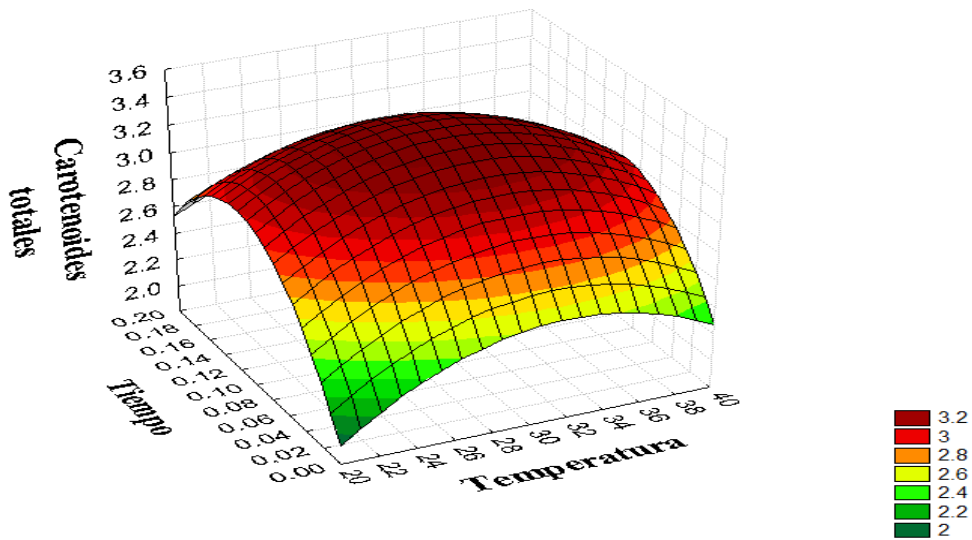


Figura 3. Efecto de la relación temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y tiempo (h), con respecto a la concentración de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum*).

Después de identificar las relaciones entre las variables independientes, se estableció el punto óptimo de extracción de licopeno de tomate (*Solanum lycopersicum*), el cual consistió en la combinación de una temperatura 29.72°C , relación acetona-hexano de 80.56% y tiempo de 0.11 horas (Figura 4). Podemos definir que los puntos óptimos, es donde maximizamos los recursos, lo que significa que en estos parámetros se obtienen los mejores resultados utilizando la cantidad necesaria de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), solventes (%) y tiempo (h), esto se diferencia del punto exacto el cual indica la concentración de licopeno al utilizar al máximo los recursos presentes.

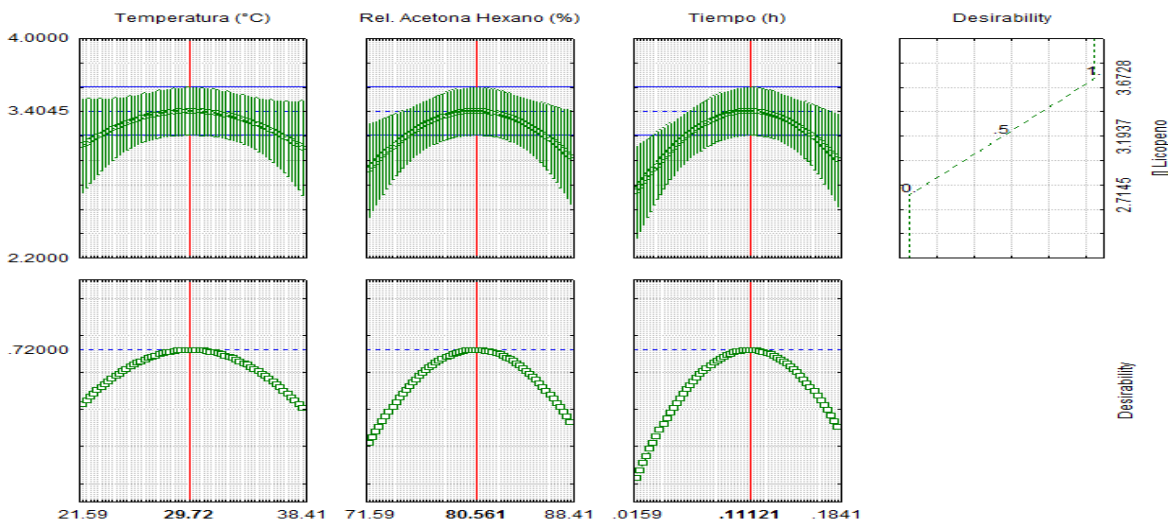


Figura 4. Función de utilidad con respecto a las variables temperatura ($^{\circ}\text{C}$), relación acetona-hexano (%) y tiempo (h).

Fase II. Optimización de la microencapsulación de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum*) mediante método de secado por aspersión.

Evaluación de rendimiento del secador en encapsulación. Se evaluó el rendimiento del microencapsulado obtenido mediante la relación del peso del licopeno encapsulado sobre la cantidad en masa de carotenoides antes de la encapsulación y después de la encapsulación (Cuadro 7) por medio de una medición en espectrofotómetro a una longitud de onda de 400 a 600 nm, donde la referencia es la medición de la absorbancia en los puntos 446, 471 y 503 nm y aplicando la ecuación 1 y 2. En la solución (agua destilada), para determinar la eficiencia se utilizó la ecuación 6 (Jun *et al.* 2010, Cardona *et al.* 2006, Rodríguez-Amaya y Kimura 2004).

Evaluación de eficiencia. Se evaluó la eficiencia del microencapsulado obtenido mediante la relación del peso de los carotenoides encapsulados sobre la cantidad en masa aplicada de maltodextrina en la solución de agua destilada (Cuadro 7). Para determinar la eficiencia se utilizó la ecuación 7 (Penalva *et al.* 2014).

Cuadro 7. Rendimiento y Eficiencia de microencapsulación de carotenoides totales mediante secado por aspersión.

Muestras	Temp. De Salida. (°C)	Temp. De entrada. (°C)	Temp. de salida (°C)	Temp. De Entrada (°C)	Rendimiento %	Eficiencia %
1	-1	-1	95.00	160.00	37.86	33.13129
2	1	-1	105.00	160.00	48.00	32.50057
3	-1	1	95.00	192.00	38.09	45.13657
4	1	1	105.00	192.00	32.88	45.34036
5	-1.41	0	92.95	176.00	15.29	34.38674
6	1.41	0	107.05	176.00	17.09	36.42735
7	0	-1.41	100.00	153.44	38.32	20.00095
8	0	1.41	100.00	198.56	35.12	43.49097
9 ©	0	0	100.00	176.00	14.84	39.31422
10 ©	0	0	100.00	176.00	19.53	37.72705
11 ©	0	0	100.00	176.00	10.96	39.73586

© Puntos centrales.

El análisis para rendimiento fue categorizado como significativo y predictivo ya que el coeficiente de variación fue menor a 30% ($R^2= 0.852$), lo que determina que el 85% de los 22 datos se ajustaron al modelo. Además, la falta de ajuste no fue significativa ($P < 0.10$), por lo tanto, el modelo pudo describir adecuadamente la relación de las variables independientes con las variables dependientes. Además, se realizó la prueba F donde el valor F calculado (9.85) fue mayor que el F tabular (3.074). A razón de que todos los factores se cumplieron, se clasificó el modelo como predictivo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Coeficientes de regresión para rendimiento de microencapsulación de carotenoides totales en función de temperatura de salida (°C) (X₁) y temperatura de entrada (°C) (X₂).

Factor	Coefficiente de Regresión
Intercepto	99.222 [^]
X ₁ (L)	7.283 [^]
X ₁ (Q)	-0.038
X ₂ (L)	0.007 [^]
X ₂ (Q)	0.000
X ₁ *X ₂	0.003
Falta Ajuste	0.1790
R ²	0.852
F. calculado	9.85
F. tabular	3.074

L= relación linear, Q = relación cuadrática

X₁ = Temperatura de Salida, X₂ = Temperatura de Entrada (°C)

Los coeficientes con un [^] son considerados significativos (P < 10)

A continuación, se presenta la ecuación 14, con la que se determinó el rendimiento (%).

$$\text{Rendimiento (\%)} = 99.222 + 7.283 X_1 + 0.007 X_2 - 7.283X_1^2 \quad [14]$$

Donde:

X₁= Temperatura de salida (°C).

X₂= temperatura de entrada (°C).

Para rendimiento del proceso de microencapsulación, las temperaturas de entrada (°C) y de salida (°C) fueron de 96 hasta 106 °C y de 170 hasta 190°C respectivamente. Estos valores brindaron resultados de mayor eficiencia de carotenoides totales encapsulados. Se puede observar en la figura 5 que la temperatura de salida brinda un mejor rendimiento cuando este se encuentra cerca del punto axial del tratamiento a diferencia de la temperatura de salida, que tiende a mantenerse en un punto medio en la relación iniciando con un crecimiento positivo y presentando un declive a medida que la gráfica se acerca al punto axial (Figura 5).

En el estudio de Figueroa *et al.* (2016), se encontró que el rendimiento aumentó con el incremento de la temperatura del aire de entrada, ya que, en el secado por atomización a elevadas temperaturas, se produce mayor eficiencia en los procesos de transferencia de calor y masa, resultando en un rendimiento de microencapsulación más alto.

En cuanto a la temperatura de salida, según Gómez y Jiménez (2014), afecta la partícula al momento de encapsularse, lo que refiere que a mayor temperatura la molécula de maltodextrina tiende a hincharse y a modificarse su viscosidad. Así mismo, se recomienda que la diferencia entre la temperatura de entrada y la temperatura de salida no supere los

100 °C, y esta debe ser lo menor posible. Si esta es mayor, podría incrementar la posibilidad de tener una alta humedad residual en la cápsula (Candelas *et al.* 2005). Las maltodextrina son un compuesto altamente soluble y son adecuadas para la encapsulación de compuestos bioactivos, sabores y aromas. Esta molécula tiene la característica que son inodoras e incoloras y producen baja viscosidad a altas concentraciones, aparte tienen la característica que forman polvos de libre flujo sin enmascarar las características propias del compuesto a encapsular (García *et al.* 2004).

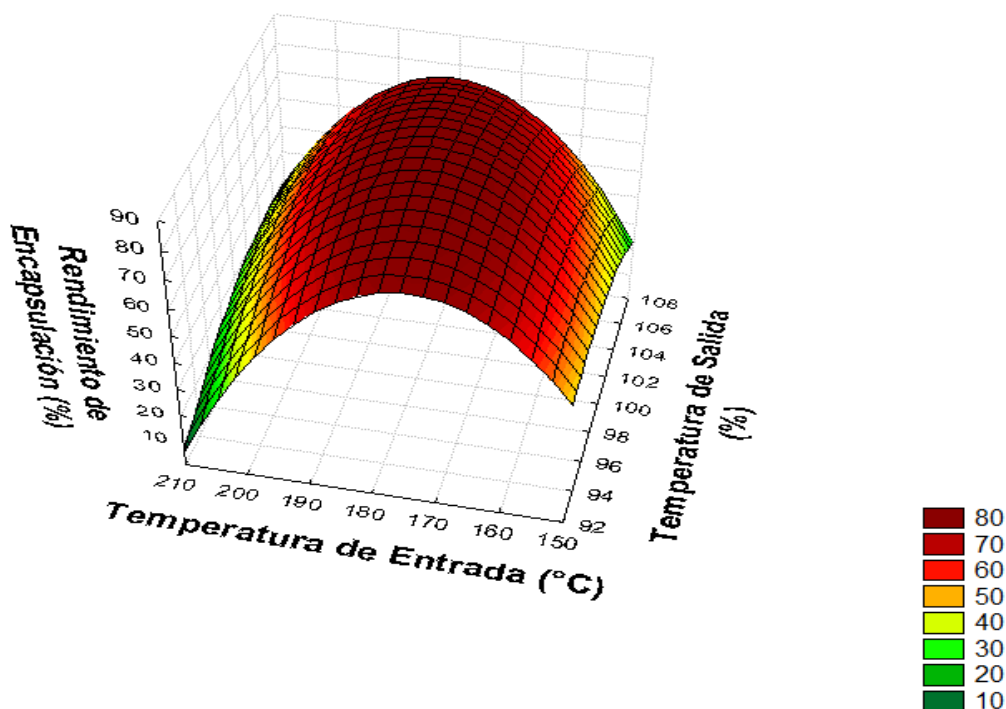


Figura 5. Efecto de la temperatura de salida (°C) y la temperatura de entrada al sistema (°C) en relación con el rendimiento de encapsulación de carotenoides totales de tomate.

El análisis para eficiencia fue categorizado como significativo y predictivo ya que el coeficiente de variación fue menor a 30% ($R^2 = 0.77$), lo que determina que el 77% de los datos se ajustaron al modelo. Este modelo fue clasificado como predictivo ya que la falta de ajuste no fue significativa ($P < 0.10$), por lo tanto, el modelo logró describir la relación de las variables independientes con las variables dependientes. Por otra parte, se realizó la prueba F en la que se obtuvo un valor F calculado (8.99), el cual fue mayor que el F tabular (3.113). A razón de que todos los factores se cumplieron se clasificó el modelo como predictivo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Coeficientes de regresión para eficiencia de microencapsulación de carotenoides totales en función de temperatura de salida (°C) (X₁) y temperatura de entrada (°C) (X₂).

Factor	Coefficiente de Regresión
Intercepto	96.41 [^]
X ₁ (L)	21.43
X ₁ (Q)	-0.15
X ₂ (L)	14.72 [^]
X ₂ (Q)	-0.06 [^]
X ₁ *X ₂	0.05
Falta Ajuste	0.1450
R ²	0.77
F. calculado	8.99
F. tabular	3.113

Los coeficientes con [^] son considerados significativos (P < 0.10)

L = relación lineal, Q = relación cuadrática

X₁= Temperatura de entrada (°C), X₂= temperatura de salida (°C).

A continuación, se incluye la ecuación matemática que representó la eficiencia de microencapsulación bajo las condiciones en la que se estableció el experimento. El polinomio expresado es cuadrático de segundo orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas de la ecuación 15.

$$Eficiencia (\%) = 94.41 + 14.72 X_2 - 0.06X_2^2 \quad [15]$$

Donde:

X₂= Temperatura de Entrada (°C).

En eficiencia de microencapsulación, para las variables temperatura de entrada (°C) y temperatura de salida (°C), los valores óptimos obtenidos se encontraron en los rangos de 176 hasta 210 °C y 98 hasta 102 °C, respectivamente. Se observó que a medida aumentó la temperatura de entrada (°C) hubo un efecto positivo alcanzando las temperaturas máximas cercanas al punto axial superior y temperatura de salida (°C). También tuvo un efecto variable en la eficiencia de encapsulación, ya que esta se vio afectada a medida que la temperatura se acercaba a los puntos axiales teniendo una distribución normal en el resultado para esta variable (Figura 6).

Se determinó que la temperatura de salida no fue significativa para determinar eficiencia (P < 10). Una alta temperatura de entrada y de salida incrementa la higroscopicidad de las microcápsulas, esta se incrementa a medida que se eleva la temperatura tanto de salida como, de entrada. Este aumento de la higroscopicidad se debe a la disminución del contenido de humedad. Tonon *et al.* (2008) señalan que hay una relación inversa entre la higroscopicidad y el contenido de humedad de los polvos y que está relacionado con el gradiente de concentración de agua entre el producto y el aire circundante, también se evidencia que la higroscopicidad varía con respecto al agente encapsulante, la maltodextrina

presenta una baja higroscopicidad en polvos, por tanto, tener altas temperaturas, teniendo en cuenta lo antes mencionado, podría incrementar la posibilidad de tener una baja humedad residual en la capsula (Candelas *et al.* 2005).

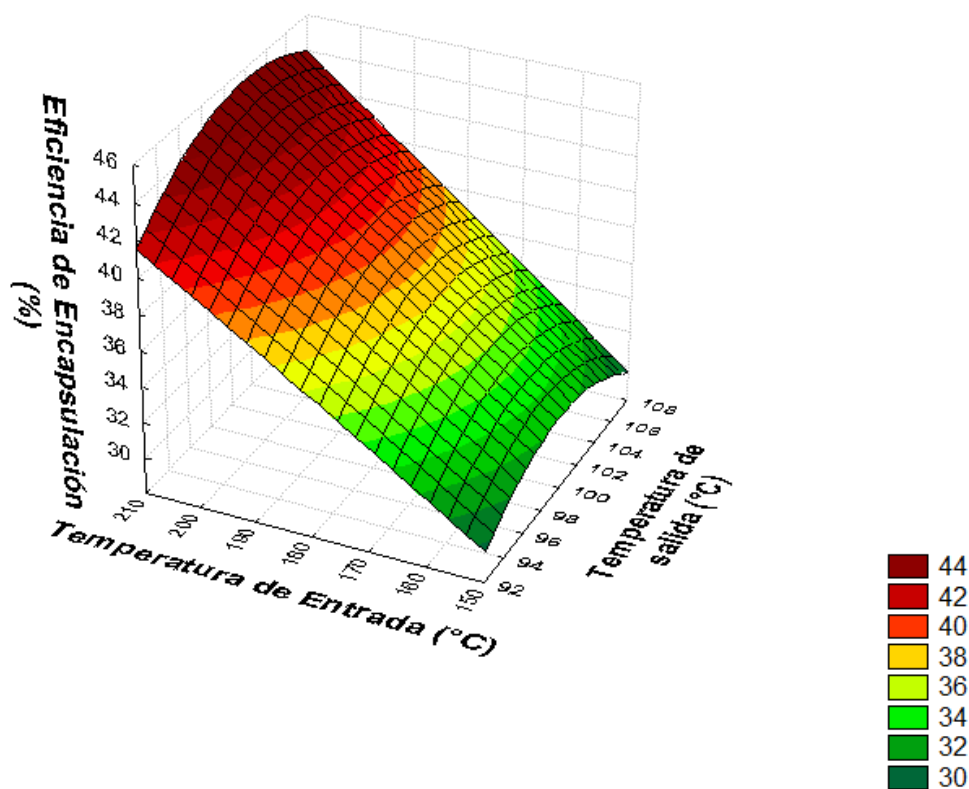


Figura 6. Efecto de temperatura de entrada (°C) y temperatura de salida (°C), con respecto a la eficiencia de la microencapsulación.

El punto óptimo de microencapsulación se estableció en: temperatura de entrada de 185.78 °C y temperatura de salida de 100.94 °C, con la combinación de estas variables en el punto óptimo la eficiencia (%) y rendimiento (%) de microencapsulación fueron de 40.10% y 18.76%, respectivamente (Figura 7).

Investigaciones realizadas por Saavedra y Londoño (2015), reportan eficiencias de encapsulación con maltodextrina de 40%, lo cual se asemeja a lo encontrado en la investigación actual. Los isómeros de las partículas de carotenoides se pueden ordenar cuando la temperatura de aire oscila entre 180 °C de temperatura de entrada y 100 °C de temperatura de salida (Parras 2010). El rendimiento de la encapsulación de carotenoides totales en maltodextrina es la cantidad exacta que el agente encapsulante pudo atrapar en su estructura y este fue de 18% por sí sola, estos datos se asemejan a los obtenidos por Juscamaita *et al.* (2017), los cuales obtuvieron porcentaje de rendimiento similares con

maltodextrina 20% de dextrosa del producto y la cápsula tuvo un alto porcentaje, estos rendimientos se deben a la cantidad de licopeno presente en la muestra y lo que la cápsula pudo atrapar.

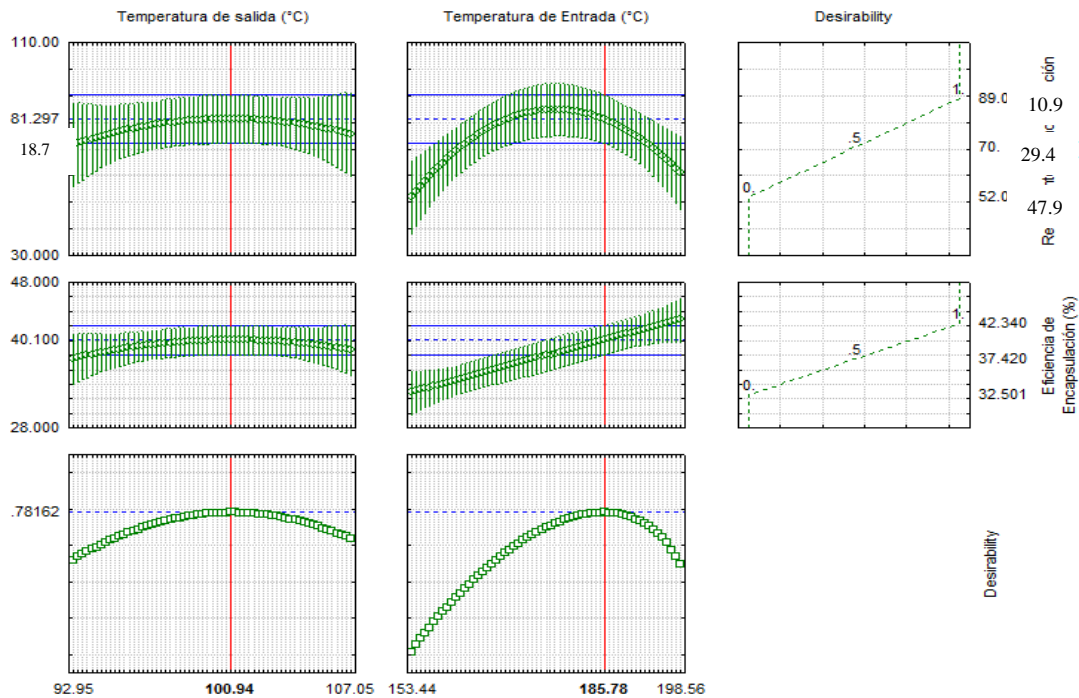


Figura 7. Función de utilidad con respecto a las variables Temperatura de Entrada (°C) y Temperatura de Salida (°C).

4. CONCLUSIONES

- El punto óptimo para obtener una mayor extracción de carotenoides totales de tomate (*Solanum lycopersicum*) fue: temperatura 29.72 °C, de relación acetona-hexano 80.56 %, y tiempo de 0.11 horas.
- El punto óptimo para obtener mayor eficiencia y rendimiento de microencapsulación de carotenoides totales de tomate, mediante el método de secado por aspersión fue: temperatura de entrada de 185.78 y 100.94 °C temperatura de salida.
- El aumento de la temperatura de entrada y salida aumentó la viscosidad de la muestra debido al aumento de la higroscopicidad de la cápsula.

5. RECOMENDACIONES

- Replicar el estudio midiendo la significancia de otras variables como pH y relación sólido-líquido.
- Realizar una cuantificación mediante HPLC para poder tener valores de concentración más precisos y exactos; además, poder realizar una identificación total de los carotenoides presentes en el tomate y así mismo, determinar la cantidad exacta de licopeno presente en la muestra.
- Realizar un proceso de sonificación de la solución con agua fría (hielo) previo a micro encapsular, para disminuir la turbidez y romper los “clusters” grandes presentes en la emulsión.
- Realizar estudios para determinar la capacidad antioxidante del compuesto.
- Analizar y utilizar el compuesto en pruebas *in vivo* e *in vitro* para comprobar su capacidad para prevenir tumores cancerígenos.
- Realizar encapsulación utilizando mezclas de otros materiales encapsulantes como almidón, alginatos y goma arábica.

6. LITERATURA CITADA

Box G.E.P, Draper N.R. 1959. A basis for the selection of a response surface design. Journal of the American Statistical Association. 54(287):622-654.

Candelas Cadillo MG, Alanís Guzmán MGJ, Bautista Justo M, Del Rio Olague F, García Díaz C, 2005. Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión lycopene content in spray-dried tomato juice. Ing. Quim. 4(1):299-307. [Citado en 2018 Sep. 20]. <http://www.redalyc.org/html/620/62040309/>.

Cardona, EM.; Ríos, LA.; Restrepo V, GM. 2006. Extracción de carotenoide licopeno del tomate chonto (*Lycopersicum esculentum*). VITAE 13(2):44-53.

Choski, PM. Y Joshi, VY. 2007. A Review on lycopene-extraction, purification, stability applications. Int. Jour. Food Prop 10(2):289-298. Eng. DOI: 10.1080/109429106010 52699.

Cruz B, Reyna M, González GJ, Sánchez CP, 2013. Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. En: Nutrición hospitalaria. 28(1):6–15. Esp. DOI: 10.3305/nh.2013.28.1.6302.

Cruz R, González J, Sánchez P. 2013. Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. [Internet]. Universidad Autónoma de Yucatán, México. Nutr Hosp. 2013(28):6.15. Eng. DOI:10.3305/nh.2013.28.1.6302

Da Silva A, Da Costa M, Teixeira M, Da Silva V, Sartoratto A, Rodrigues R, Hubinger M. 2016. Physical properties and morphology of spray dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis Martius*) extract. Powder Technology. 294(1):421-428. Eng. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.03.007>

Fernández C, Llobregat M, Pitre A, Rondón Y, 2007. Evaluación del contenido de licopeno en pastas de tomate comerciales. Inf. Tecnol. 18(3):31-38(2007). Esp. Doi:10.4067/S0718-07642007000300005.

Ferratto JA, Rotondo R, Firpo IT, Mondino MC, Grasso R. 2009. Efecto de los procesos de cosecha, empaque y comercialización en las pérdidas y daños pos cosecha de tomate. Horticultura Argentina. 28(66): 26-31.

Figuerola P, Miguel A. 2016. Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO² supercrítico. Revista Colombiana de Química. 45 (2): 39-37. DOI: 10.15446/rev.colomb.quim.v45n2.57481.

FHIA (Fundación hondureña de investigación agrícola) 2015. Informe técnico 2015 programa de diversificación. [Internet] [Consultado 2017 nov 13] Disponible en: http://www.fhia.org.hn/downloads/informes_tecnicos/Inf_Tec_diversificacion_2015.pdf

García Gutiérrez C, González Maldonado MB, Ochoa Martínez LA, Medrano Roldán H, 2004. Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. Cienc. Tecnol. Aliment. 4(4):262-266. Esp. <https://doi.org/10.1080/11358120409487769>.

Gómez Cruz NI, Jiménez Munguía MT, 2014. Método de secado de emulsiones alimentarias. Tem. Sel. de Ing. Ali. 8(2):23-33. [Citado 2018 Sep. 20]. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2015/05/TSIA-82-Gomez-Cruz-et-al-2014.pdf>.

INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) 2007. Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del n-hexano. Madrid, España. Ministerio del trabajo, migraciones y seguridad nacional de España. [Consultado el 07 de Julio del 2018]. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Valores_Limite/Doc_Toxicologica/FicherosSerie2/DLEP%2036.pdf.

Jun Xia X, Hai Yan Y, Jian Y, 2010. Microencapsulation of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum Arabic. Fo. Che. 125(2011): 1267-1272.

Juscamaita Fabián L, Pérez Salvatierra T, Espinoza Silva C, Quispe Solano M, Hinostroza Quiñónez G, Flores Ramos O, Manyari Cervantes G, 2017. Evaluación de la estabilidad de carotenoides y actividad antioxidante de la flor de mastuerzo (*Tropaeolum majus L.*) en la microencapsulación por Spray-Drying. Rev. Soc. Quim. 83(3):286-293. Esp. [Citado en 2018 Sept. 20]. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n3/a04v83n3.pdf>.

Kabori, CN. Huber, LS. Kimura, M. Rodriguez-Amaya, DB. 2010. Teores de carotenoides em produtos de tomate. Endereço para correspondência: Departamento de Ciência de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. RIALA6/1259. Disponible en: <http://periodicos.ses.sp.bvs.br/pdf/riala/v69n1/v69n1a11.pdf>.

King VAE, 1992. Response surface experimentation. Food. Res. Int. 25(1):1-8. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(92\)90019-2](https://doi.org/10.1016/0963-9969(92)90019-2)

Lupano CE. 2013. Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento. 1ra ed. La Plata (Argentina): editorial de la Universidad de La Plata; [consultado 2018 jun 14] <https://www.biol.unlp.edu.ar/alimentosysalud/ModificacionesComponentes.pdf>.

Manuchar. 2017. Especificaciones inamalt 110 maltodextrina 10. [Consultado 2018 may 24] www.manuchar.com.mx/productos/alimentos-y-bebidas/maltodextrina-10/.

Meléndez Martínez AJ, Vicario IM, Heredia FJ, 2004. Estabilidad de los carotenoides en los alimentos [Tesis]. Universidad de Sevilla, Sevilla, España Arch. Lat. Nut. 54(2). 8 p.

- Monsalve J, Machado M, 2007. Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) variedad manzano. Multiciencia. 7(3):256-265. [Consultado 2018 feb 11]. <http://www.redalyc.org/pdf/904/90470303.pdf>.
- Moro T. 2013. Caracterización físico-química de bioplásticos elaborados por extrusión y Termo compresión a partir de harina de maracuyá (*passiflora edulis*) [Tesis]. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 41p.
- Nellis SC, Kanesaki Correia AF, Fillet Spoto MH, 2016. Extração e quantificação de carotenoides em minitomate desidratado (Sweet Grape) através da aplicação de diferentes solventes. Campinas. Braz J. Food Technol. 20(2016156). POR. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.15616>.
- Nunes IL, Mercadante AZ. 2004. Obtenção de cristais de licopeno a partir de descarte de tomate. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas. 24(3): 440-447 [Consultado 2017 nov 17] <http://www.scielo.br/pdf/cta/v24n3/21940.pdf>.
- Ordóñez A, Balanza M, Flores C, Martín F, 2009. Estabilidad del carotenoide licopeno en tomates en conserva. Info. Tecnol. 20(4):31-37. Esp. doi:10.1612/inf.tecnol.4126it.08.
- Özkan G, Ersus Bilek S, 2014. Microencapsulation of Natural Food Colourants. International Journal of Nutrition and Food Sciences. 3(3):145-156. doi: 10.11648/j.ijnfs.20140303.13.
- Parra Huertas RA, 2010. Food microencapsulation: a review. Fac. Nac. Agro. 63(2): 5669-5684. DOI.10.15446/rfnam.
- Penalva R, Esparza I, Agüeros M, Gonzalez Navarro CJ, Gonzalez Ferrero C, Irache JM, 2014. Casein nanoparticles as carriers for the oral delivery of folic acid. F.H. Eng. 44(2015):399-406.
- Rocha GA. 2009. Produção, caracterização, estabilidade e aplicação de Microcápsulas de licopeno [Tesis]. Universidad estatal de Compinas, Brasil. 93 p.
- Rodrigues M, Lemma A, 2015. Experimental Design and Process Optimization. London (UK): Taylor & Francis Group. [Consultado 2018 Jul 15]. ISBN: 13:978-1-4822-9956-4.
- Rodriguez Amaya DB, 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. solubility. Washington, D.C (USA): ILSI Press. [Consultado 2018 feb 24]. <http://beauty-review.nl/wp-content/uploads/2014/11/A-guide-to-carotenoid-analysis-in-foods.pdf>.
- Rodriguez Amaya, DB, Kimura M, (2004): HarvestPlus handbook for carotenoid analysis. Washington, D.C. (USA). HarverstPlus Tec. Mon. 2 [Consultado 2018 Feb. 12]. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08cbae5274a31e00013d4/tech02.pdf>.

Rodríguez G, Lama A, Rodríguez R, Jiménez A, Guillén R. Fernández-Bolaños J, 2008. Olive stone an attractive source of bioactive and valuable compounds. *Bioresource Technol.*, 99 (13): 5261-526. Eng. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.027>

Saavedra Hortúa N, Londoño Londoño JA, 2015. Desarrollo de una formulación de nano y micropartículas de licopeno extraído por fluidos supercríticos a partir de residuos agroindustriales de tomate (*Lycopersicon esculentum*) [Tesis]. Universidad Lasallista, Colombia. 115 p.

Sanchez Z. 2016. Evaluación de propiedades fisicoquímicas, morfológicas y sensoriales de microencapsulados de cacao obtenidos por spray drying. [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia-Colombia. 80 p.

Sandoval C. 2012. Estudio de la reactividad de oxígeno molecular singulete y flavonoides. Efecto del medio [Tesis]. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 78 p.

Serra Valdés MA, 2016. Chronic Noncommunicable diseases: a current look at the challenge. *Rev. Finlay* 6(2):167-169.

Teba C. 2014. Desenvolvimento e caracterização de farinhas mistas extrudadas de arroz e concentrado proteico de soro de leite bovino para a elaboração de biscoitos e mingaus [Tesis]. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-Rio de Janeiro. 192 p.

Thompson DR. 1982. Response surface experimentation. *Journal of Food Process and Preservation* 6: 155 p.

Tonon R, Brabet C, Hubinger M, 2008 Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae Mart.*) powder produced by spray drying. *J Food Eng.* 88 (3): 411-418.

Valenzuela B, Ronco R, Maria A, 2007. ACRILAMIDA EN LOS ALIMENTOS. *Rev. chil. nutr.* 34(1):8-16. Esp. DOI: 10.4067/S0717-75182007000100001

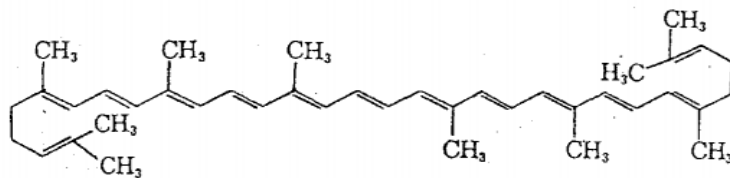
Vera A, González SM. 2013. Efecto de la concentración de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) y niveles de pH en las características físico-químicas y sensoriales en el vino de rosa de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Valle del Yeguaré. 40 p.

7. ANEXOS

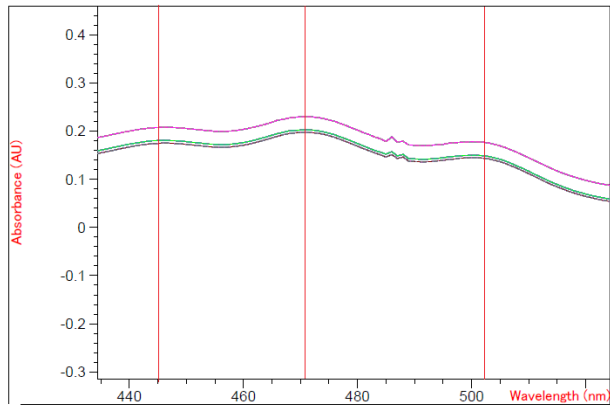
Anexo 1. Tabla de distribución de valor F ($P < 0.10$).

Distribución F, alfa=0.10															
$v_2 \backslash v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	39.864	49.5	53.593	55.833	57.24	58.204	58.906	59.439	59.857	60.195	60.473	60.705	60.902	61.073	61.22
2	8.526	9	9.162	9.243	9.293	9.326	9.349	9.367	9.381	9.392	9.401	9.408	9.415	9.42	9.425
3	5.538	5.462	5.391	5.343	5.309	5.285	5.266	5.252	5.24	5.23	5.222	5.216	5.21	5.205	5.2
4	4.545	4.325	4.191	4.107	4.051	4.01	3.979	3.955	3.936	3.92	3.907	3.896	3.886	3.878	3.87
5	4.06	3.78	3.619	3.52	3.453	3.405	3.368	3.339	3.316	3.297	3.282	3.268	3.257	3.247	3.238
6	3.776	3.463	3.289	3.181	3.108	3.055	3.014	2.983	2.958	2.937	2.92	2.905	2.892	2.881	2.871
7	3.589	3.257	3.074	2.961	2.883	2.827	2.785	2.752	2.725	2.703	2.684	2.668	2.654	2.643	2.632
8	3.458	3.113	2.924	2.806	2.726	2.668	2.624	2.589	2.561	2.538	2.519	2.502	2.488	2.475	2.464
9	3.36	3.006	2.813	2.693	2.611	2.551	2.505	2.469	2.44	2.416	2.396	2.379	2.364	2.351	2.34
10	3.285	2.924	2.728	2.605	2.522	2.461	2.414	2.377	2.347	2.323	2.302	2.284	2.269	2.255	2.244
11	3.225	2.86	2.66	2.536	2.451	2.389	2.342	2.304	2.274	2.248	2.227	2.209	2.193	2.179	2.167
12	3.177	2.807	2.606	2.48	2.394	2.331	2.283	2.245	2.214	2.188	2.166	2.147	2.131	2.117	2.105
13	3.136	2.763	2.56	2.434	2.347	2.283	2.234	2.195	2.164	2.138	2.116	2.097	2.08	2.066	2.053
14	3.102	2.726	2.522	2.395	2.307	2.243	2.193	2.154	2.122	2.095	2.073	2.054	2.037	2.022	2.01
15	3.073	2.695	2.49	2.361	2.273	2.208	2.158	2.119	2.086	2.059	2.037	2.017	2	1.985	1.972

Anexo 2. Estructura química del licopeno.



Anexo 3. Rango de lectura de espectrofotometría.



Anexo 4. Máquina spray Dryer.



Anexo 5. Materiales de extracción de carotenoides totales.



Anexo 6. Fórmula capacidad de carga de maltodextrina.

$$\text{Capacidad de carga: } \frac{\text{Peso de licopeno final}}{\text{Peso de la capsula}} = 0.056 \text{ g de licopeno/g de maltodextrina. [16]}$$

Anexo 7. Fórmula de dosis recomendada.

$$\text{Dosis recomendada} = \frac{\text{Dosis recomendada}}{(\text{Cantidad de gramos de licopeno})} = 106.42\text{g/día. [17]}$$