

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**“COMPUESTOS BIOACTIVOS Y AROMÁTICOS DE HARINA DE
LÚCUMA OBTENIDA MEDIANTE SECADO EN CABINA Y
ATOMIZACIÓN”**

Presentada por:

ALLINSON YANIDEL NUÑEZ BURGA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGÍSTER
SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Lima-Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**“Compuestos bioactivos y aromáticos de harina de lúcuma obtenida
mediante secado en cabina y atomización”**

Presentada por:

ALLINSON YANIDEL NUÑEZ BURGA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGÍSTER
SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Dr. Américo Guevara Pérez
Presidente

.....
M. Sc. Francisco Salas Valerio
Miembro

.....
Dra. Rosana Chirinos Gallardo
Miembro

.....
Dr. David C. Campos Gutiérrez
Asesor

.....
Dra. Ana C. Aguilar Galvez
Co- Asesor

Lima-Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios, por ser el amor más grande y puro que tengo, e iluminar mi camino.

A mis padres, por ser lo que más amo en el mundo, mi vida entera, porque no me imagino una vida sin ustedes. Los amo muchísimo, infinito.

A Denny, por ser el mejor compañero que puedo tener.

A mis abuelitos, a quienes amo tanto, mi amor para con ustedes es indescriptible.

AGRADECIMIENTO

A Dios por cuidarme y amarme infinitamente.

A mi co-asesora, la Dra. Ana Aguilar Galvez, por su invaluable apoyo durante todo el desarrollo de esta tesis, realmente muchísimas gracias por todo el tiempo, la dedicación, la paciencia, la comprensión, el compromiso, la disposición y la exigencia. Al Dr. David Campos, por brindarme la oportunidad de realizar esta tesis, guiándome y apoyándome durante todo su desarrollo. A mi jurado, por su tiempo en la revisión de esta tesis. A todos mis compañeros del IBT por su disposición a apoyarme en cualquier momento. A Adelaida, Cinthia y Diego por sus enseñanzas, paciencia y disposición y a la profesora Marianela por apoyarme siempre.

A mi familia, en especial a mis abuelitos, a mi papá Lucas por ser siempre mi orgullo, mi ejemplo, mi motivación para superarme a mí misma, para estar en constante aprendizaje, por su gran amor y cariño; a mi mamita Martha por brindarme su amor infinito, su compañía, por ser mi inspiración, la niña de mis ojos. A Denny, por apoyarme siempre en todo momento y por alegrar mis días.

A mis grandes amigos, Ronal por ser un verdadero amigo siempre incondicional, a James siempre aclarándome dudas y apoyándome en todo lo que necesitaba. A Ivest por su gran aporte en la parte estadística. Al Ingeniero Klaus, que Dios lo tenga en su gloria, por su gran apoyo con el abastecimiento de la lúcuma que empleé para mi tesis.

Al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico, y de Innovación Tecnológica-FONDECYT, por el financiamiento para el desarrollo de la presente investigación como parte del proyecto: “Evolución de los metabolitos primarios y secundarios (bioactivos y aromáticos–sensoriales), propiedades antioxidante e hipoglucemiante durante la maduración de lúcuma (*Pouteria lucuma*) en condiciones ambientales y controladas” (Convenio de Subvención N° 124-2015-FONDECYT).

INDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	LÚCUMA.....	3
2.1.1.	GENERALIDADES.....	3
2.1.2.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	3
2.1.3.	EXPORTACIÓN.....	4
2.1.4.	COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL.....	6
2.2.	COMPUESTOS BIOACTIVOS.....	7
2.2.1.	COMPUESTOS FENÓLICOS.....	7
2.2.2.	CAROTENOIDES.....	7
2.2.3.	TOCOFEROLES.....	8
2.2.4.	FITOSTEROLES.....	9
2.2.5.	TERPENOS.....	9
2.3.	CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	10
2.4.	COMPUESTOS AROMÁTICOS.....	11
2.4.1.	PRECURSORES.....	11
2.4.2.	SÍNTESIS.....	12
2.4.3.	FACTORES QUE AFECTAN SU COMPOSICIÓN Y RETENCIÓN.....	17
2.4.4.	TÉCNICAS DE DETECCIÓN.....	19
2.5.	SECADO.....	22
2.5.1.	SECADO EN CABINA.....	22
2.5.2.	SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	24
3.2.	MATERIA PRIMA.....	24
3.3.	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	24
3.3.1.	MATERIALES.....	24
3.3.2.	EQUIPOS.....	25
3.3.3.	REACTIVOS.....	25
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	26
3.4.1.	DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.....	26

3.4.2.	SÓLIDOS SOLUBLES	26
3.4.3.	ACIDEZ TITULABLE.....	27
3.4.4.	DETERMINACIÓN DE PH	27
3.4.5.	ANÁLISIS DE COLOR	27
3.4.6.	DETERMINACIÓN DE POLARES.....	27
3.4.7.	DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES	27
3.4.8.	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA <i>IN VITRO</i>	28
3.4.9.	ANÁLISIS DE CAROTENOIDES TOTALES, Y PERFIL DE CAROTENOIDES POR HPLC-DAD.....	28
3.4.10.	DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS.....	29
3.4.11.	DETERMINACIÓN DE LA HIGROSCOPICIDAD	30
3.4.12.	DETERMINACIÓN DE LA SOLUBILIDAD.....	30
3.4.13.	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE	30
3.4.14.	RENDIMIENTO.....	31
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	31
3.5.1.	SECADO EN CABINA.....	32
3.5.2.	SECADO POR ATOMIZACIÓN	32
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL	34
3.6.1.	PARA EL ESTUDIO DE SECADO EN CABINA.....	34
3.6.2.	PARA EL ESTUDIO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN	36
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	36
3.7.1.	PARA EL ESTUDIO DE SECADO EN CABINA	36
3.7.2.	PARA EL ESTUDIO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1.	CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA.....	39
4.2.	SECADO EN CABINA.....	42
4.2.1.	EFFECTO DEL SECADO EN CABINA EN LAS CARACTERÍSTICAS BIOACTIVAS DE LA HARINA DE LÚCUMA	44
4.2.2.	EFFECTO DEL SECADO EN CABINA EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA HARINA DE LÚCUMA.....	50
4.2.3.	ELECCIÓN DEL TRATAMIENTO DE SECADO EN CABINA EN FUNCIÓN A LA RETENCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS BIOACTIVAS, FÍSICO- QUÍMICAS Y AROMÁTICAS DE LA HARINA DE LÚCUMA	63
4.3.	SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	64
4.3.1.	EFFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS BIOACTIVAS DE LA HARINA DE LÚCUMA.....	65

4.3.2. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA HARINA DE LÚCUMA	74
4.3.3. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ATOMIZACIÓN	90
4.4. COMPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE SECADO EN CABINA Y POR ATOMIZACIÓN	92
V. CONCLUSIONES.....	94
VI. RECOMENDACIONES	95
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
VIII. ANEXOS	124

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Evolución de las exportaciones de lúcuma (kg) según sus principales presentaciones 2013-2017	5
Cuadro 2: Diseño central compuesto para optimizar el método de secado por atomización de la lúcuma.....	36
Cuadro 3:Características físico-químicas de la materia prima	39
Cuadro 4: Identificación de los carotenoides presentes en harina de lúcuma obtenida mediante secado en cabina	48
Cuadro 5:Efecto de la temperatura de secado en cabina en la retención (%) de carotenoides en las muestras de harina	49
Cuadro 6:Azúcares* y azúcar alcohol* presentes en las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina	52
Cuadro 7: Ácidos orgánicos* presentes en las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina.....	53
Cuadro 8:Valores** L, a*, b*, C y H° de las harinas obtenidas a tres diferentes temperaturas de secado.....	54
Cuadro 9: Diferencial de retención (%) de los compuestos aromáticos en las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina	58
Cuadro 10:Cuadro comparativo de los compuestos bioactivos y físico-químicos de la harina obtenida mediante secado en cabina.....	63
Cuadro 11:Resultados del diseño experimental.....	64
Cuadro 12:Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuadrático para los compuestos fenólicos.....	65
Cuadro 13:Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuadrático para la capacidad antioxidante	68
Cuadro 14:Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuadrático para los carotenoides totales	70
Cuadro 15:Identificación de los carotenoides presentes en harina de lúcuma obtenida mediante secado por atomización.....	72
Cuadro 16: Efecto de la temperatura de entrada de aire (°C) y concentración de encapsulante (%) en la retención (%) de carotenoides en las muestras de harina.....	73
Cuadro 17: Contenido de humedad promedio de las muestras de harina correspondientes a los tratamientos de atomización	74
Cuadro 18: Azúcares y azúcar alcohol* presentes en las muestras de harina correspondientes a los tratamientos de atomización.....	76
Cuadro 19: Ácidos orgánicos* presentes en las muestras de harina correspondientes a los tratamientos de atomización	77
Cuadro 20: Efecto de la temperatura de entrada de aire y concentración de encapsulante en la retención (%) de compuestos aromáticos en las muestras de harina	78
Cuadro 21:Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuadrático para la solubilidad.....	80
Cuadro 22:Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuadrático para la higroscopicidad. 83	
Cuadro 23:Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuadrático para el rendimiento	85
Cuadro 24:Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuadrático para la densidad aparente	87

Cuadro 25:Análisis de varianza (ANVA) del modelo cuadrático para el ángulo hue.....	89
Cuadro 26:Cuadro comparativo de los compuestos bioactivos, físico-químicos y aromáticos de la harina de lúcuma obtenida mediante los métodos más adecuados de secado en cabina y por atomización	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exportaciones de lúcumas (kg) según sus principales presentaciones en el 2017 ..	5
Figura 2: Síntesis de aroma en frutas y vegetales.....	13
Figura 3: Rutas biosintéticas para la degradación de aminoácidos a compuestos volátiles en plantas y microorganismos	14
Figura 4: Carotenoides y sus productos de degradación	16
Figura 5: Flujo de operaciones para la obtención de harina de lúcumas mediante secado en cabina y por atomización.....	33
Figura 6:Diseño experimental	35
Figura 7:Rendimiento promedio (%) para cada temperatura de secado (°C).....	42
Figura 8:Curvas de secado a 50, 60 y 70 °C (g agua/ g materia seca) para el fruto de lúcumas	43
Figura 9:Compuestos fenólicos (AGE mg/g bs) y capacidad antioxidante (TE $\mu\text{mol/g}$ bs) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina.....	44
Figura 10:Carotenoides totales (β -caroteno mg/g bs) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina	46
Figura 11:Contenido de humedad promedio (%) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina	51
Figura 12:Solubilidad promedio (%) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina.....	59
Figura 13:Higroscopicidad promedio (%) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina	60
Figura 14:Densidad aparente (g/ml) promedio de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina	61
Figura 15:Superficie de respuesta de los compuestos fenólicos (mg AGE/g bs) de las muestras de harina en función de los factores: concentración de encapsulante (%) y temperatura de entrada de aire (°C).....	66
Figura 16:Superficie de respuesta de la capacidad antioxidante (TE $\mu\text{mol/g}$ bs) de las muestras de harina obtenidas mediante atomización en función de los factores: concentración de encapsulante (%) y temperatura de entrada (°C)	68
Figura 17:Superficie de respuesta de carotenoides (β -caroteno mg/g bs) de las muestras de harina obtenidas mediante atomización en función de los factores: concentración de encapsulante (%) y temperatura de entrada (°C).....	71
Figura 18:Superficie de respuesta de la solubilidad (%) de las muestras de harina en función de los factores: concentración de encapsulante (%) y temperatura de entrada (°C).....	81
Figura 19:Superficie de respuesta de la higroscopicidad (%) de las muestras de harina en función de los factores: concentración de encapsulante (%) y temperatura de entrada (°C)	84
Figura 20:Superficie de respuesta del rendimiento (%) de las muestras de harina en función de los factores: concentración de encapsulante (%) y temperatura de entrada (°C).....	86
Figura 21:Superficie de respuesta de la densidad aparente (g/ml) de las muestras de harina en función de los factores: concentración de encapsulante (%) y temperatura de entrada (°C)	88

Figura 22:Superficie de respuesta del ángulo hue de las muestras de harina en función de los factores: concentración de encapsulante (%) y temperatura de entrada (°C).....	90
Figura 23:Superficie de respuesta de la función deseabilidad de las muestras de harina, considerando la maximización de los compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante, carotenoides totales, solubilidad, densidad aparente, rendimiento y ángulo hue	91

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA	124
ANEXO 2:DATOS PARA CURVA DE SECADO A 50 °C.....	125
ANEXO 3:DATOS PARA CURVA DE SECADO A 60 °C.....	125
ANEXO 4:DATOS PARA CURVA DE SECADO A 70 °C.....	126
ANEXO 5:CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	127
ANEXO 6:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-HUMEDAD DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	127
ANEXO 7:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-COMPUESTOS FENÓLICOS DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	128
ANEXO 8:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	128
ANEXO 9:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-CAROTENOIDES TOTALES DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	129
ANEXO 10:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-DENSIDAD APARENTE DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	129
ANEXO 11:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-HIGROSCOPICIDAD DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA DE AIRE CALIENTE.....	129
ANEXO 12:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-SOLUBILIDAD DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA DE AIRE CALIENTE.....	130
ANEXO 13:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RENDIMIENTO DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	130
ANEXO 14:RETENCIÓN DE CAROTENOIDES EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	131
ANEXO 15:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE NEOXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	131
ANEXO 16:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE VIOLAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	132
ANEXO 17:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (A) EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	132
ANEXO 18:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE CIS-VIOLAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	133
ANEXO 19:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ZEAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	133
ANEXO 20:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (B) EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	133
ANEXO 21:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (B) EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	134
ANEXO 22:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE B-CAROTENO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	134
ANEXO 23:RETENCIÓN DE CAROTENOIDES EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	135

ANEXO 24:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE NEOXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	135
ANEXO 25:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE VIOLAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	136
ANEXO 26:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (A) EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	136
ANEXO 27:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE CIS-VIOLAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	137
ANEXO 28:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ZEAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	137
ANEXO 29:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (B) EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	137
ANEXO 30:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE CRIPTOXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	138
ANEXO 31:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE B-CAROTENO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	138
ANEXO 32:CONTENIDO DE AZÚCARES, AZÚCAR-ALCOHOL Y ÁCIDOS ORGÁNICOS EN LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	139
ANEXO 33:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-GLUCOSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	139
ANEXO 34:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-FRUCTOSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	140
ANEXO 35:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-SACAROSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	140
ANEXO 36:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-MIO-INOSITOL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	141
ANEXO 37:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-ÁCIDO MÁLICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	141
ANEXO 38:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-ÁCIDO QUÍNICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	141
ANEXO 39:CONTENIDO DE AZÚCARES, AZÚCAR-ALCOHOL Y ÁCIDOS ORGÁNICOS EN LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	142
ANEXO 40:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-GLUCOSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	142
ANEXO 41:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-FRUCTOSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	143
ANEXO 42:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-SACAROSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	144
ANEXO 43:ANÁLISIS ESTADÍSTICO MIO-INOSITOL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	145
ANEXO 44:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-ÁCIDO MÁLICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	146
ANEXO 45:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-ÁCIDO QUÍNICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	146

ANEXO 46: PARÁMETROS DE COLOR PARA HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	147
ANEXO 47: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO L EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	148
ANEXO 48: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO A* EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	148
ANEXO 49: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO B* EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	148
ANEXO 50: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO C EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	149
ANEXO 51: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO H EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	149
ANEXO 52: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO DE EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA.....	149
ANEXO 53: PARÁMETROS DE COLOR PARA HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	150
ANEXO 54: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO L EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	151
ANEXO 55: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO A* EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	151
ANEXO 56: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO B* EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	152
ANEXO 57: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO C EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	152
ANEXO 58: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO H EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	153
ANEXO 59: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO DE EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN	153
ANEXO 60: RETENCIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	154
ANEXO 61: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 2.3 BUTANODIONA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	154
ANEXO 62: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE (E)-2 HEXENAL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	155
ANEXO 63: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	155
ANEXO 64: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO BUTANOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	155
ANEXO 65: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 3METIL-1 BUTANOL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	156
ANEXO 66: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO HEXANOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	156
ANEXO 67: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 3E-HEXENOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA	157
ANEXO 68: RETENCIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	157

ANEXO 69: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 2.3 BUTANODIONA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	157
ANEXO 70: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE (E)-2 HEXENAL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	158
ANEXO 71: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	159
ANEXO 72: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO BUTANOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	160
ANEXO 73: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 3METIL-1 BUTANOL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	161
ANEXO 74: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO HEXANOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	161
ANEXO 75: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE E(3) -HEXENOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	162
ANEXO 76: COMPARACIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS, FÍSICO-QUÍMICOS Y AROMÁTICOS DE LA HARINA DE LÚCUMA OBTENIDA MEDIANTE LOS MÉTODOS MÁS ADECUADOS DE SECADO EN CABINA Y POR ATOMIZACIÓN.....	163

RESUMEN

La lúcuma denominada antiguamente como “*el oro de los incas*”, es apreciada por ser una fuente de compuestos bioactivos, por ello sus derivados como la harina tienen gran aplicación como ingredientes alimenticios. Se evaluó y comparó el efecto del secado en cabina y por atomización en los compuestos bioactivos y aromáticos de la harina. Los compuestos fenólicos se determinaron mediante el método de Folin Ciocalteu, la capacidad antioxidante mediante el método TEAC, los carotenoides totales fueron cuantificados mediante espectrofotometría, la retención de compuestos aromáticos, mediante CG MS/MS y la caracterización de la harina, mediante análisis físico-químicos. Se evaluaron tres tratamientos de secado en cabina, siendo estos: 50, 60 y 70 °C y se aplicó un Análisis de Varianza. En secado por atomización, se evaluaron 12 tratamientos mediante la aplicación de un Diseño Central Compuesto $2^2 + *$, considerando como factores la temperatura y la concentración del encapsulante. En ambos métodos de secado se tuvo como variables respuesta los compuestos bioactivos (compuestos fenólicos, carotenoides totales), la capacidad antioxidante, compuestos aromáticos y la caracterización físico-química. Respecto a los resultados del secado en cabina se observó que a 70 °C hubo incremento de los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante. Mientras que el contenido de carotenoides totales y la mayor retención de compuestos aromáticos se vieron incrementados a la temperatura de 50 °C. Respecto a la atomización, con el tratamiento de 175 °C de temperatura de entrada de aire y 3 por ciento de encapsulante se obtuvo contenido más alto de compuestos bioactivos, mientras que con el tratamiento de 147 °C de temperatura de entrada de aire y 6 por ciento de encapsulante, mejor retención de compuestos aromáticos. Finalmente, mediante la comparación de ambos métodos de secado se observó que el mejor tratamiento fue el de 175 °C y 3 por ciento de encapsulante.

Palabras clave: lúcuma, secado en cabina, atomización, compuestos bioactivos, compuestos aromáticos

ABSTRACT

Lucuma, formerly known as "*the gold of the Incas*", is appreciated for being a source of bioactive compounds, therefore its derivatives such as flour have great application as food ingredients. The effect of convective and spray drying on the bioactive and aromatic compounds of the flour was evaluated and compared. The phenolic compounds were determined by the Folin Ciocalteu method, the antioxidant capacity by the TEAC method, the total carotenoids were quantified by spectrophotometry, the retention of aromatic compounds, by means of GC MS / MS and the characterization of the flour, by physical-chemical analysis. Three convective drying treatments were evaluated, these being: 50, 60 and 70 ° C and a variance analysis was applied. Regarding spray drying, 12 treatments were evaluated through the application of Composite Central Design 2² +*, considering as factors the temperature and concentration of the encapsulant. In both drying methods, bioactive compounds (phenolic compounds, total carotenoids), antioxidant capacity, aromatic compounds and physical-chemical characterization were considered as response variables. About the results of convective drying, it was observed that at 70 ° C there was an increase in phenolic compounds and antioxidant capacity. While the content of total carotenoids and the retention of aromatic compounds was increased to the temperature of 50 °C. Regarding the spray drying, with the treatment of 175 ° C of air inlet temperature and 3 percent of encapsulant, higher content of bioactive compounds was obtained, while with the treatment of 147 ° C of air inlet temperature and 6 percent encapsulant, better retention of aromatic compounds. Finally, by comparing both drying methods it was observed that the best treatment was 175 ° C and 3 percent encapsulant.

Keywords: lucuma, convective drying, spray drying, bioactive compounds, aromatics compounds

I. INTRODUCCIÓN

La lúcuma es una fruta nativa de las tierras altas de Perú, Ecuador, Chile y fue parte importante de la dieta prehispánica de los hombres que habitaban en ese entonces en aquellas tierras. El Perú es el principal productor de lúcuma (88 por ciento de la producción mundial) (Ma *et al.* 2004). Esta fruta es una buena fuente de fibra, vitaminas y minerales, así también es fuente de compuestos bioactivos tales como carotenoides y fenólicos, a quienes se les atribuyen propiedades antioxidantes. La identificación específica de estos compuestos aún está incompleta; sin embargo, en los últimos años se han llevado a cabo estudios cada vez más detallados mediante el empleo de técnicas cromatográficas cada vez más sensibles que han permitido ampliar el conocimiento de sus características (Fuentealba *et al.* 2016, Dini 2009, Silva-Pinto *et al.* 2009, Erazo *et al.* 1999).

A nivel nacional el fruto procesado como harina de lúcuma es empleado mayoritariamente para la fabricación de helados. Tanto los mercados europeos, asiáticos (China) así como también el mercado norteamericano están creciendo económicamente de manera favorable y tienen un incremento constante en el consumo de productos orgánicos y exóticos, entre los cuales están incluidas la lúcuma fresca y sus derivados. Asimismo, la harina de lúcuma permite disponer de las cualidades de esta fruta en épocas en las que no hay producción de esta ya que puede ser transportada a largas distancias y/o almacenada por uno a dos meses en lugares oscuros (por ser la harina fotosensible), en ambiente ventilado sin perder sus características originales (Villanueva 2002). Es así pues que la harina de lúcuma representa una excelente oportunidad para la industria alimentaria e incluso como uso directo para el consumidor en la elaboración de jugos o bebidas.

El proceso de secado tiene como objetivo conservar la calidad de los alimentos mediante la disminución del contenido de humedad, lo que evita la contaminación microbiológica de los productos durante el almacenamiento y alarga su tiempo de vida útil (Aguilar 2012). Sin embargo, a pesar de las ventajas proporcionadas a la industria alimentaria, algunos efectos

del secado pueden conducir a la modificación ó pérdida del valor tanto sensorial, nutricional y funcional del producto, incluyendo el color, el sabor y la textura de los alimentos (Marques *et al.* 2007). Estos cambios son aún más relevantes cuando se considera que los compuestos bioactivos importantes tales como fenoles y ácido ascórbico se pueden reducir significativamente.

En la búsqueda bibliográfica realizada no se ha hallado información contundente sobre el grado de retención de los compuestos bioactivos y aromáticos de la lúcuma al ser sometida al proceso de secado. Lo que sí se ha estudiado es su comercialización ya sea como fruta fresca o como harina que como ya se mencionó por su gran difusión y versatilidad de uso tiene un gran potencial de exportación.

Por lo que es importante encontrar el método más eficiente y eficaz para secar este fruto, manteniendo al máximo el potencial sensorial y bioactivo el que se ha relacionado con sus beneficios para la salud. En esta tesis se buscó evaluar y comparar el efecto de dos métodos de secado: secado en cabina y atomización, en la retención de compuestos bioactivos y aromáticos en la harina de lúcuma. Asimismo, se caracterizó la harina obtenida por ambos métodos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LÚCUMA

2.1.1. GENERALIDADES

La lúcuma es un fruto oriundo de Sudamérica, se cultiva en Colombia, Ecuador, norte de Chile y Perú. Existen dos grandes tipos de lúcuma: seda y palo. La primera tiene un alto contenido de agua y se come fresca, de color amarillo intenso, mientras que la segunda tiene menor contenido de agua, de color amarillo claro y es empleada principalmente para elaborar helados. Dentro de ellas, existen 120 biotipos diferentes, que combinan distintos tamaños, colores, sabores y textura de pulpa. Actualmente, se cultiva entre los 0 y 2800 m.s.n.m. Se adapta a climas subtropicales con temperaturas bajas mayores a 12 °C y tolera suelos y períodos secos (Villanueva 2002).

Su pulpa es suave, de textura harinosa, aroma muy agradable, color amarillento-naranja. Los biotipos de la costa mayormente presentan un elevado contenido de agua en la pulpa, que evita la característica harinosa propia de los biotipos de sierra, como los de Ayacucho (Villanueva 2002, Maldonado 2012).

2.1.2. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según Maldonado (2012), la clasificación taxonómica de la lúcuma es la siguiente:

Reino	:	Plantae
Subreino	:	Tracheobionta
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Sub clase	:	Dilleniidae
Orden	:	Ericales

Familia : Sapotaceae
Sub familia : Chrysophylloideae
Género : Pouteria
Especie : *Pouteria lucuma*

2.1.3. EXPORTACIÓN

En el periodo analizado del año 2017, las ventas de harina de lúcuma sumaron US\$ 1 241 267 y la pulpa de lúcuma US\$ 1 072 912 (Agraria.pe 2017). Durante el periodo enero-agosto del año 2017, las exportaciones peruanas de lúcuma (harina y pulpa) sumaron un total de US\$ 2 314 179, lo que representó un incremento de 23.34 por ciento en comparación a los US\$ 1.876.252 alcanzados durante el mismo periodo del 2016 (Agraria.pe 2017). Así lo informó el portal Agrodato Perú, que indicó que, en los primeros ocho meses del 2017, los envíos de esta fruta ascendieron a 475 147 kilos, mostrando un crecimiento de 43.72 por ciento respecto a los 330 605 kilos despachados en similar periodo del año anterior (Agraria.pe 2017). En la Figura 1, se puede observar las exportaciones de lúcuma (kg) según sus principales presentaciones en el 2017. Asimismo, en el Cuadro 1, se presenta la evolución de las exportaciones de lúcuma (kg) según sus principales presentaciones 2013-2017. Como se puede observar hay una disminución y estancamiento de las exportaciones de la pulpa, mientras que hay un considerable incremento en la exportación de la harina de este fruto.

Harina de lúcuma

En lo que respecta a la harina de lúcuma, de enero a agosto del 2017, nuestro país realizó envíos por US\$ 1 241 267, reflejando un alza de 4.66 por ciento frente a los US\$ 1186 022 obtenidos en similar periodo del 2016 (Agraria.pe 2017). Esto representó 125 358 kilos de harina de lúcuma despachados en ese periodo, registrando un incremento de 8.15 por ciento en comparación a los 115 908 kilos enviados en similar lapso del año anterior (Agraria.pe 2017).

Los mercados destinos de la harina de lúcuma procedente de Perú fueron: Estados Unidos con US\$ 313 918, Reino Unido (US\$ 231 227), Portugal (US\$ 200 000), Alemania (US\$ 122 858), Holanda (US\$ 70 285), República de Corea (US\$ 59 101), Australia US\$

(58 458), Bélgica (US\$ 35 139), Canadá (US\$ 24 210), Sudáfrica (US\$ 11 263) y otros (US\$ 114 808) (Agraria.pe 2017). Las principales empresas exportadoras de harina de lúcuma fueron: Algarrobos orgánicos del Perú, quien realizó despachos por US\$ 583 396 (47 por ciento del total), Peruvian Nature S & S con el 11 por ciento; Ecoandino, 6 por ciento; Madre Selva Organics, 6 por ciento; Villa Andina, 5 por ciento; M G Natura Perú, 4 por ciento; Complementos y Suplementos Orgánicos del Perú, 4 por ciento; Memex, 3 por ciento; Agroindustrias Osho, 3 por ciento; demás, 10 por ciento (Agraria.pe 2017).

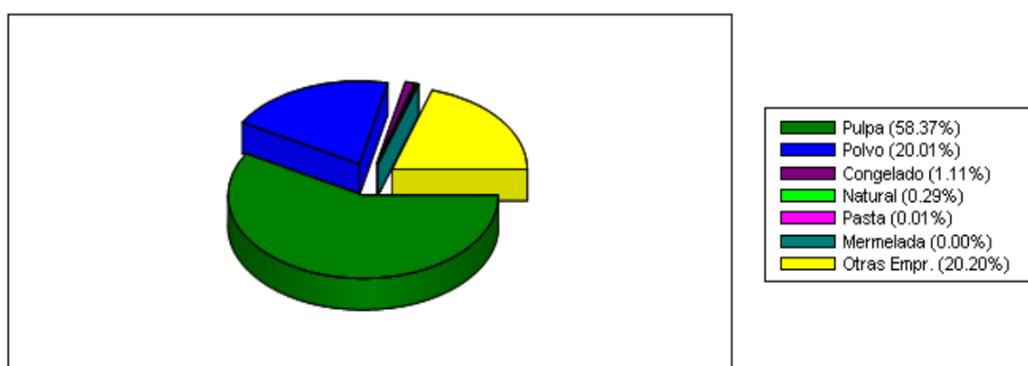


Figura 1: Exportaciones de lúcuma (kg) según sus principales presentaciones en el 2017

FUENTE: SUNAT (2017)

Cuadro 1: Evolución de las exportaciones de lúcuma (kg) según sus principales presentaciones 2013-2017

	2013	2014	2015	2016	2017
Pulpa	507.116,58	237.971,99	368.501,96	329.346,46	392.300,54
Otras Presentaciones	38.245,21	48.757,11	103.669,62	114.403,34	135.786,25
Polvo	67.222,14	84.060,51	124.029,56	112.686,41	134.497,32
Congelado	0,00	164,00	1.391,51	9,93	7.487,12
Natural	5.610,09	1.044,46	4.823,64	4.761,75	1.971,74
Pasta	0,00	0,00	0,00	3,16	60,14
Mermelada	25,68	5,05	0,00	36,01	4,44
Liofilizado	0,00	0,00	0,00	370,45	0,00
Bebidas	0,00	6,40	0,00	0,00	0,00
Total	618.219,70	372.009,53	602.416,28	561.617,50	672.107,55

*Nota: Diciembre del 2017. La información que se muestra es una versión preliminar aproximada al mes de diciembre, sin embargo, se encuentra sujeta a actualizaciones

FUENTE: SUNAT (2017)

2.1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL

Además de contener caroteno y vitamina B, la lúcuma también cuenta con altos niveles de antioxidantes. También es alto en fibra y minerales esenciales como el hierro. Además, es más baja en contenido de azúcar en comparación con otras frutas tropicales como mangos, plátanos y piñas, produciendo menor carga calórica o glicémica. En su lugar, los carbohidratos complejos de la lúcuma se absorben lentamente durante un largo periodo de tiempo, causando sólo un aumento mínimo en los niveles de azúcar en la sangre. Los carbohidratos complejos también son importantes debido a que ayudan en la absorción de los minerales y en la formación de ácidos grasos (Leigh 2014).

Según Ma *et al.* (2004), la capacidad antioxidante encontrada en el extracto de lúcuma es alta, y esta capacidad antioxidante se debe en gran parte a las catequinas y epicatequinas presentes en estos extractos. Un reciente estudio encontró que el extracto acuoso de lúcuma tiene la más alta concentración de compuestos fenólicos (11.4 mg/g peso seco) al comparar con otras frutas peruanas y una alta capacidad inhibitoria alfa-glucosidasa. Este último podría sugerir la lúcuma como un tratamiento basado en alimentos para complementar el manejo de la diabetes (Silva-Pinto *et al.* 2009). La lúcuma posee una gran cantidad de niacina, hierro, caroteno y fibra, sustancias claves para el correcto funcionamiento del organismo. Aunque debido a su alto contenido de niacina, sustancia conocida como vitamina B3, útil en el metabolismo de las proteínas y en el proceso de producción de la energía corporal; la ingesta de lúcuma estimula el buen funcionamiento del sistema nervioso y actúa como un extraordinario energizante (Villanueva 2002). La niacina presente en grandes cantidades en esta especie, ayuda a reducir el nivel de colesterol y triglicéridos en la sangre, por lo que resulta de vital importancia para el tratamiento de innumerables enfermedades, especialmente la obesidad y malestares cardiovasculares. El caroteno actúa como un antioxidante, reduciendo los efectos del envejecimiento; contrarresta las enfermedades que afectan los ojos como las cataratas y la pérdida de la visión por la degeneración de la retina. Previene el cáncer de próstata y disminuye considerablemente las probabilidades de ataques cardíacos (Villanueva 2002).

A pesar del sabor dulce, la lúcuma tiene un bajo contenido de azúcar. Esta fruta es una buena fuente de fibra, vitaminas y minerales. La fibra en la lúcuma se encuentra principalmente en

la forma insoluble (Glorio *et al.* 2008). Se ha encontrado altas concentraciones de fibra dietaria total de aproximadamente 24.2 por ciento. Algunos monosacáridos como la fructosa entre 136.9 y 155.9 mg/g base seca y glucosa entre 140.9 y 147.2 mg/g base seca; disacáridos como la sacarosa entre 48 y 57.6 mg/g base seca; azúcar-alcohol como el mio-inositol entre 5.7 y 9.9 mg/g base seca. Ciertos ácidos como: ácido cítrico, tartárico, málico, ascórbico, en cantidades de 1.7 a 3.4, 0.55 a 1, 1.6, 0.58 a 0.68 mg/g base seca respectivamente (García 2016).

2.2. COMPUESTOS BIOACTIVOS

2.2.1. COMPUESTOS FENÓLICOS

Químicamente, los compuestos fenólicos son sustancias que poseen un anillo aromático, un anillo benceno, con uno o más grupos hidroxilos incluyendo derivados funcionales (ésteres, metil ésteres, glicósidos, etc.) (Tsimidou 1998). La naturaleza de los polifenoles varía desde moléculas simples como los ácidos fenólicos hasta compuestos altamente polimerizados, como los taninos. Se presentan en las plantas en forma conjugada con uno o más residuos de azúcar y un carbono aromático. Por ello, la forma más común de encontrarlos en la naturaleza es en forma de glicósidos, siendo solubles en agua y solventes orgánicos (Shahidi y Naczk 1995). Los azúcares asociados a los polifenoles pueden ser monosacáridos, disacáridos o incluso oligosacáridos. Los compuestos a los que se encuentran unidos con mayor frecuencia son: glucosa, galactosa, arabinosa, ramnosa, xilosa, ácidos carboxílicos, ácidos orgánicos, aminas, lípidos y a otros compuestos fenólicos (Bravo 1998).

2.2.2. CAROTENOIDES

El tipo y la disponibilidad de carotenoides en frutas y vegetales pueden predecirse por el color; las verduras y frutas de color amarillo naranja son generalmente ricas en β -caroteno y el α - caroteno. La α -cryptoxantina y la zeaxantina se pueden encontrar en los frutos anaranjados, tales como mandarina, naranja y papaya. Del mismo modo, el pigmento licopeno (responsable de color rojo brillante) es el componente principal de los tomates y de los productos derivados del tomate. La luteína (casi 45 por ciento) y el β -caroteno (25-30 por ciento) seguido de violaxantina (10-15 por ciento) y neoxantina (10-15 por ciento) son

las formas predominantes de carotenoides en hortalizas de hoja verde (Lakshminarayana *et al.* 2005, Priyadarshani y Jansz 2014), aunque la concentración absoluta de cada carotenoide varía considerablemente entre las diferentes verduras. Los carotenoides como el α -caroteno, β -criptoxantina, zeaxantina, anteraxantina y luteína 5.6-epóxido (luteoxantina) también se registran en vegetales de hoja verde en concentraciones menores. En la mayoría de las frutas y verduras, el β -caroteno es generalmente dominante en comparación con su isómero geométrico α -caroteno. Se pueden encontrar contenidos significativamente altos de α -caroteno en un número limitado de frutas y verduras, tales como camote, zanahorias, calabaza y verduras de color verde oscuro, como judías verdes, espinacas y brócoli (Khoo *et al.* 2011).

Los carotenoides son un grupo de compuestos solubles en lípidos. Consisten en ocho unidades de isopreno con una serie de dobles enlaces conjugados que constituyen el grupo cromóforo característico; las unidades de isopreno están unidas de tal manera que los dos grupos metilo sustituyentes más cercanos en el centro de la molécula están en posición 1.6 y en la posición 1.5 se encuentran todos los otros grupos. Los carotenoides pueden clasificarse como carotenos si sólo están formados por átomos de carbono e hidrógeno (hidrocarburos), y como xantófilas, si contienen alguna función oxigenada (Sing 1997).

2.2.3. TOCOFEROLES

Los tocoferoles son un grupo de moléculas anfipáticas que presentan una cola hidrofóbica y una cabeza polar. Existen cuatro formas diferentes de tocoferoles: alfa (α), beta, (β), gamma (γ) y delta (δ) que difieren en el grado de metilación de la cabeza polar, siendo α el más sustituido con tres grupos metilo, β y γ con dos y δ con uno (DellaPenna 2005, Mène y DellaPenna 2010). β tocoferol posee sus grupos metilo en las posiciones cinco y ocho, mientras que γ tocoferol en las posiciones siete y ocho de su cadena (Sierra *et al.* 2010). Todos los tocoferoles son potentes antioxidantes lipofílicos y son nutrientes esenciales para los mamíferos como la vitamina E (DellaPenna 2005, Mène y DellaPenna 2010). Solamente los organismos fotosintéticos tales como las plantas, algas y algunas cianobacterias son capaces de sintetizar tocoferoles. Estos han sido detectados en hojas, semillas, raíces, tubérculos, frutas, tallos, hipocotilos y cotiledones de plantas superiores, aunque su contenido y composición es heterogénea. Por lo general, α -tocoferol es la forma

predominante en dichos tejidos. Si embargo, las otras formas (β , γ y δ) tienden a predominar en oleaginosas y sus respectivos aceites (DellaPenna 2005).

2.2.4. FITOSTEROLES

Los fitosteroles son compuestos no nutritivos (o fitoquímicos) con las mismas funciones que el colesterol animal en plantas básicas; es decir, regulan la fluidez de la membrana de las células de las plantas y otras funciones fisiológicas. Su estructura química difiere de la del colesterol debido a los sustituyentes alquilo adicionales en C_{24} , y/o un doble enlace en C_{22} . Más de 250 fitosteroles diferentes y compuestos relacionados han sido identificados en diversas plantas y materiales.

Dependiendo de su estructura y biosíntesis, los esteroides vegetales se dividen en los siguientes grupos: 4-desmetil esteroides, 4α -monometil esteroides y $4,4$ -dimetilesteroides (Piironen *et al.* 2000). Sin embargo, los $4,4$ -dimetilesteroides y los 4α -metilesteroides están presentes en concentraciones menores que los 4-desmetil-esteroides. Por lo tanto, los fitosteroides más frecuentes pertenecen al grupo de 4-desmetil-esteroides: β -sitosterol, campesterol y estigmasterol. El β -sitosterol y el campesterol tienen un grupo etilo y metilo en C_{24} , respectivamente, mientras que estigmasterol es idéntico al β -sitosterol pero con un doble enlace en el C_{22} (Igel *et al.* 2003). Los fitosteroides se encuentran naturalmente en los productos como frutas, nueces y aceites. Existe una gran variedad de plantas, que van de 800-1500 mg/100 g en aceite de maíz a 70-100 mg/100 g en aceite de palma, aunque el más ampliamente de los aceites consumidos tienen contenidos intermedios (Phillips *et al.* 2002).

2.2.5. TERPENOS

Los terpenos son típicos constituyentes de los aceites esenciales de las plantas (esencias de naranja, de menta, de lavanda, de laurel, de rosa, de geranio, etc), pero también se encuentran en especies animales, donde a veces desempeñan un papel fisiológico importante (vitamina A, hormona juvenil de los insectos, etc.). La unión de las cadenas de isopreno, que da lugar a los terpenos, suele ser de la forma cabeza-cola, pero también se han encontrado casos de unión cabeza-cabeza (Primo 2007).

Los terpenos se clasifican por el número de unidades de cinco carbonos que contienen, aunque debido a las numerosas modificaciones metabólicas se puede hacer difícil reconocer las unidades originales de cinco carbonos. Los terpenos de diez carbonos que contienen dos unidades C_5 , se denominan *monoterpenos*, los terpenos de 15 carbonos (3 unidades C_5) son *sesquiterpenos*; y los terpenos que tienen 20 carbonos (cuatro unidades C_5) son *diterpenos*. Los terpenos más grandes incluyen *triterpenos* (30 carbonos), *tetraterpenos* (40 carbonos) y politerpenoides ($[C_5]_n$, cuando $n > 8$) (Zeiger y Taiz 2006).

2.3. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Es la capacidad de una sustancia ó agente antioxidante para inhibir o retardar la oxidación de otras moléculas inhabilitando la iniciación y/o propagación de las reacciones en cadena de los radicales libres (Pastene 2009).

Por otra parte, los radicales libres se definen como cualquier especie química capaz de existir de forma independiente y que presenta uno o más electrones desapareados en su estructura, por lo tanto, son altamente reactivos; también son conocidos como especies reactivas del oxígeno y especies reactivas del nitrógeno, (ROS y RNS, respectivamente por sus siglas en inglés). Un exceso de estos puede acumularse hasta niveles tóxicos dando como resultado que se produzcan diversas acciones sobre el metabolismo primario, que pueden producir daño oxidativo de macromoléculas biológicas como el DNA, lípidos, carbohidratos y proteínas. Estos participan en los mecanismos fisiopatológicos de muchas enfermedades, tales como: cáncer, diabetes, patologías cardiovasculares, procesos reumáticos, patologías gastroentéricas, afecciones broncopulmonares o procesos neurodegenerativos. También están implicados en procesos fisiológicos como el envejecimiento, el daño causado por el ejercicio físico agotador y otros (Pastene 2009).

Existen diversos métodos para evaluar la actividad antioxidante, ya sea *in vitro* o *in vivo*. Una de las estrategias más aplicadas en las medidas *in vitro* de la capacidad antioxidante total de un compuesto, mezcla o alimento, consiste en determinar la actividad del antioxidante frente a sustancias cromógenas de naturaleza radical; la pérdida de color ocurre de forma proporcional con la concentración. No obstante, las determinaciones de la

capacidad antioxidante realizadas *in vitro* nos dan tan sólo una idea aproximada de lo que ocurre en situaciones complejas *in vivo* (Arena *et al.* 2001).

2.4. COMPUESTOS AROMÁTICOS

2.4.1. PRECURSORES

El aroma del fruto es un atributo complejo, debido a la diversidad de los compuestos emitidos y el amplio espectro de su naturaleza química. Esta complejidad es reflejo de las diversas rutas metabólicas implicadas en su biosíntesis y regulación (Dixon y Hewett 2000). Los aldehídos, alcoholes insaturados de cadena corta, los ésteres de cadena lineal y de cadena ramificada son importantes contribuyentes de los compuestos volátiles aromáticos de las frutas. Estos se forman durante el corto período de maduración asociado con el aumento climatérico en la respiración (Paillard 1968). Se han encontrado estudios sobre los compuestos aromáticos de manzanas, plátanos, peras y tomates en los que se ha demostrado que son sintetizados a partir de aminoácidos o ácidos grasos como precursores (Eskin *et al.* 1977).

A. Aminoácidos como precursores

Los aminoácidos, como la alanina, valina, leucina, isoleucina, fenilalanina y ácido aspártico, participan en la biosíntesis del aroma en las frutas como precursores directos, y su metabolismo es responsable de la producción de un amplio número de compuestos, incluidos alcoholes, carbonilos, ácidos y ésteres (Sanz *et al.* 1997). La adición de aminoácidos a rodajas de manzana demostró el aumento en la producción total de compuestos volátiles aromáticos (Rowan *et al.* 1999).

Para el caso específico de los tomates, los principales precursores aromáticos son los aminoácidos libres, los ácidos grasos y los carotenoides. Dentro de los aminoácidos se encuentran la leucina y fenilalanina, los cuales son responsables de algunos compuestos volátiles, entre ellos: 3-metilbutanol, 3-metilbutanal, 2-isobutiltiazol, 2-feniletanol. (Baysal y Demirdóven 2007, Tieman *et al.* 2007).

B. Ácidos grasos como precursores

Los ácidos grasos son los principales precursores de los compuestos aromáticos volátiles en la mayoría de las frutas en las etapas de preclimaterio y climaterio, y la disponibilidad de estos puede limitar significativamente la producción de ésteres volátiles (Sanz *et al.* 1997, Song y Bangerth 2003). Se acumulan en forma de triacilglicéridos, y su degradación oxidativa a compuestos volátiles, previa hidrólisis de los radicales acil por acción de las correspondientes acilhidrolasas, tiene lugar a través de tres vías principales: la α -oxidación, la β -oxidación y la ruta de la lipoxigenasa (Schwab y Schreier 2002).

Los ácidos grasos saturados e insaturados originan ésteres de cadena lineal y lactonas, los que a su vez tienen importancia en el perfil aromático de los frutos (Schwab *et al.* 2008). Asimismo, Goldstein y Wick (1969) mencionan que son precursores de los carbonilos volátiles responsables del aroma en tomates y plátanos, así como de otros frutos.

2.4.2. SÍNTESIS

El aroma de las frutas y hortalizas está severamente influenciado por las rutas bioquímicas, que presentan diferencias en función de que sean o no frutos climatéricos. (Requena y Tomás 2008).

La compleja gama de compuestos que se encuentran en el aroma de frutas se sintetizan según seis mecanismos principales: a) transformación de carbohidratos con incremento en la concentración de azúcares solubles y degradación de la pared celular; b) conversión de aminoácidos, como la leucina y la valina, en moléculas ramificadas metiladas, derivadas de ésteres y de alcoholes; c) utilización de los ácidos grasos para la síntesis de alcoholes, ésteres, cetonas y ácidos; d) oxidación enzimática de los ácidos linoleico y linolénico y generación de hexanal y nonanal y los oxiácidos de nueve a 12 átomos de carbono, e) conversión de la L-fenilalanina en ésteres fenólicos, principalmente, el eugenol y su derivado metílico, y f) síntesis de terpenos y derivados carotenoides (Badui 2013). En la Figura 2 se presenta la forma en la que interaccionan:

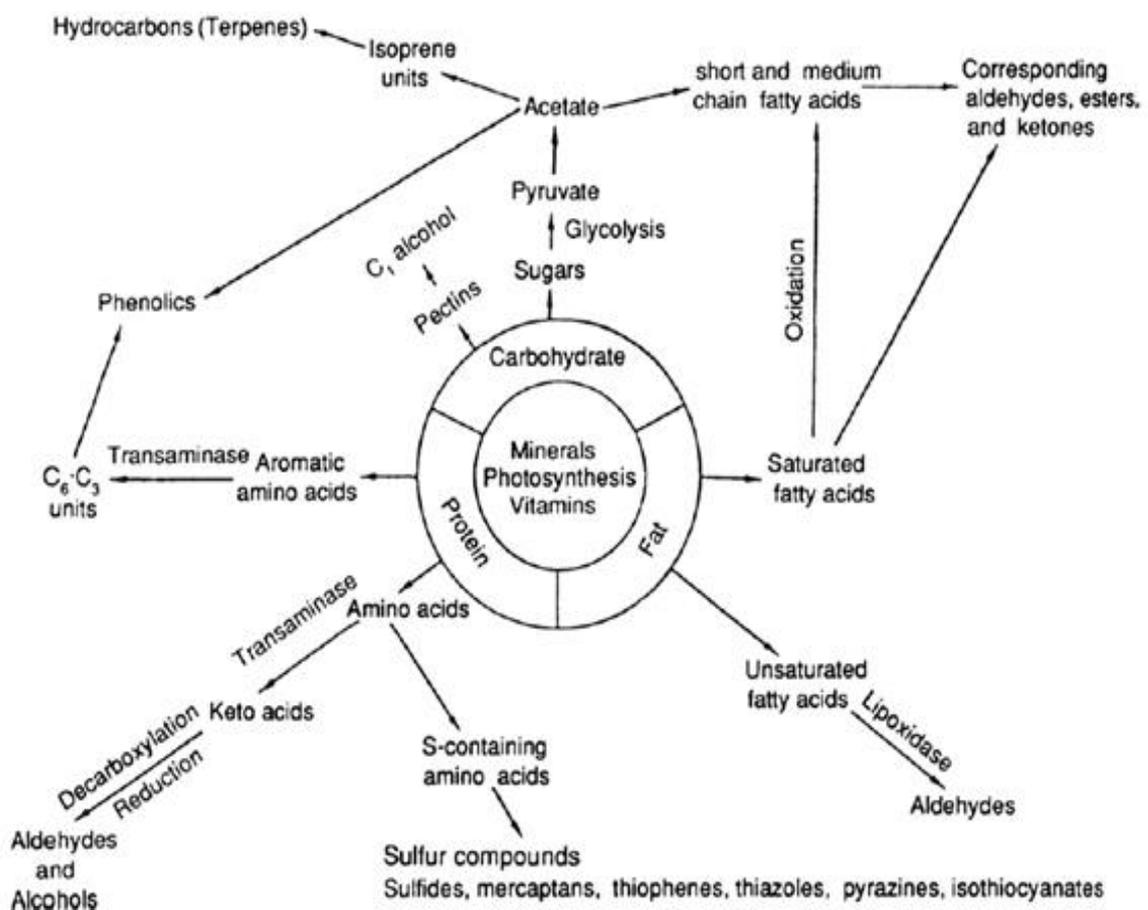


Figura 2: Síntesis de aroma en frutas y vegetales

FUENTE: Eskin y Hoehn (2013)

A. Conversión de azúcares

Los azúcares son los componentes no volátiles de mayor importancia en frutas, no sólo por su asociación con el sabor dulce, ablandamiento y el desarrollo de color, sino porque brindan un balance con los ácidos generados durante la maduración.

El contenido de azúcares solubles aumenta durante la maduración y éstos actúan como fuente de carbono para los precursores del aroma. La fructosa y en menor grado la glucosa, actúan como precursores en la formación de furanonas. Los aldehídos, como la vainillina y benzaldehído forman parte importante de los compuestos aromáticos en frutas; este último, es el principal componente del aroma de almendras amargas, y se encuentra también en durazno, ciruela y chabacano (Badui 2013).

B. Conversión de aminoácidos

Los aminoácidos pueden experimentar una desaminación o transaminación inicial que conduce a la formación del α -cetoácido correspondiente (Figura 3). Posteriormente, se produce una descarboxilación seguida de reducciones, oxidaciones y/o esterificaciones que dan lugar a aldehídos, ácidos, alcoholes y ésteres (Reineccius 2006). En efecto, los alcoholes volátiles de cadena ramificada, aldehídos y ésteres en frutas como el plátano, la manzana, la fresa y el tomate surgen de los aminoácidos de cadena ramificada como la leucina, isoleucina y valina (Goff y Klee 2006). La isoleucina podría dar lugar al 3-metilbutanol y 2-metilbutiril-CoA, ambos utilizados en la reacción de esterificación para producir el éster 3-metilbutilo 2-metilbutanoato en plátanos (Perez *et al.* 1992). Así también, compuestos derivados de la fenilalanina como fenilacetaldehído y 2-feniletanol son abundantes en fresas, tomates y uvas (Aubert *et al.* 2005).

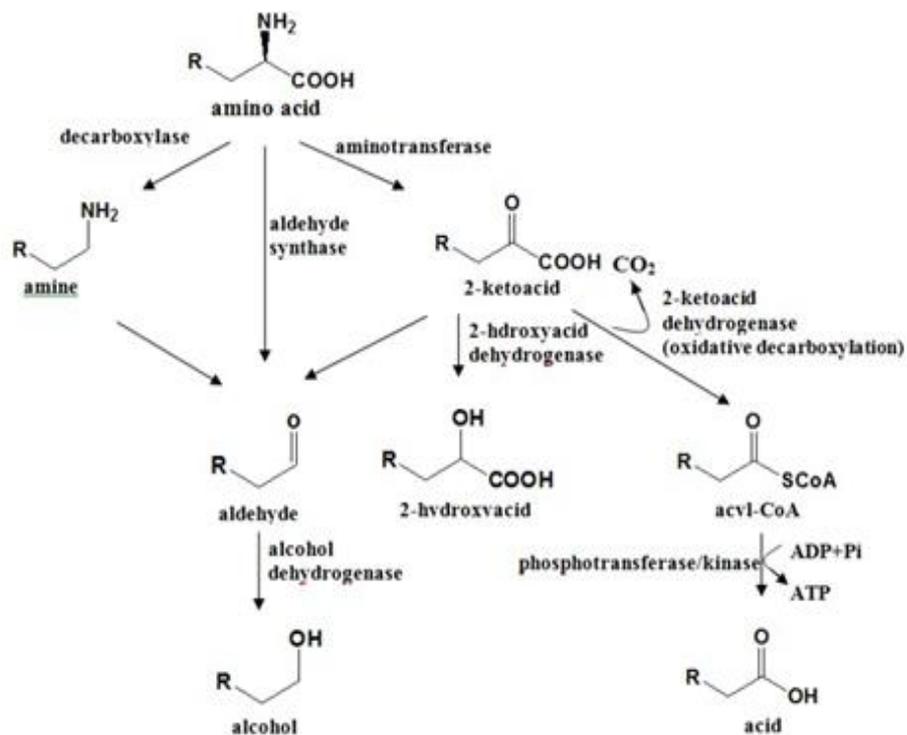


Figura 3: Rutas biosintéticas para la degradación de aminoácidos a compuestos volátiles en plantas y microorganismos

FUENTE: Mohamed *et al.* (2013)

C. Conversión de ácidos grasos

Los alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres y lactonas son importantes compuestos de aroma en frutas y están formadas básicamente por tres procesos: α -oxidación, β -oxidación y vía de la lipoxigenasa (Schwab y Schreier 2002). Los compuestos aromáticos volátiles en la fruta intacta se forman a través de la biosíntesis mediante la vía de la β -oxidación, mientras que cuando se rompe el tejido de la fruta, se forman volátiles a través de la ruta de la lipoxigenasa (LOX) (Schreier 1984). Algunos estudios sugieren que la disponibilidad de ácidos grasos aumenta, junto con una mayor permeabilidad de la membrana y durante la maduración de la fruta podría suceder que la vía de LOX se active en el tejido vegetal intacto para funcionar como una alternativa a la β -oxidación (Guadagni *et al.* 1971). Muchos de los ésteres alifáticos, alcoholes, ácidos y carbonilos que se encuentran en las frutas se derivan de la degradación oxidativa de los ácidos linoleico y linolénico (Reineccius 2006). Además, algunos de los compuestos volátiles derivados de la descomposición oxidativa de ácidos grasos insaturados catalizada por enzimas, también pueden producirse por autooxidación (Chan 1987). En efecto, los principales productos de oxidación del ácido linoleico son el hexanal y el 2,4-decadienal, mientras que la autooxidación del ácido linolénico produce 2,4-heptadienal como producto principal (Berger 2007).

D. Vía de los carotenoides

Los carotenoides y sus derivados apocarotenoides son moléculas de isoprenoides importantes para el metabolismo primario y secundario de las plantas y otros organismos vivos (Rosati *et al.* 2009). La escisión oxidativa de los carotenoides conduce a la producción de apocarotenoides y es catalizada por una familia de dioxigenasas de escisión de carotenoides (CCD) (Auldrige *et al.* 2006). Los apocarotenoides volátiles se sintetizan sólo en la última etapa de maduración, a pesar de que las enzimas CCD están presentes en todo el desarrollo de la fruta (Simkin *et al.* 2004). Las enzimas CCD a menudo exhiben promiscuidad de sustrato, lo que probablemente contribuye a la diversidad de apocarotenoides encontrados en la naturaleza (Auldrige *et al.* 2006).

En general, la biosíntesis de compuestos volátiles derivados de carotenoides se produce a través de tres pasos: una escisión inicial por parte de la dioxigenasa que produce

apocarotenoides, seguida de transformaciones enzimáticas de los mismos que conducen a la formación de precursores de aroma polares; y finalmente conversiones catalizadas por ácido, de estos precursores a compuestos volátiles. Sin embargo, en algunos casos un producto volátil es el resultado del paso inicial de la escisión por dioxigenasa. Las enzimas CCD exhiben especificidad por el doble enlace que segmentan, pero muchos no son específicos en la elección del sustrato. En las plantas, las enzimas CCD1 y CCD7 cortan los enlaces dobles en las posiciones 9,10 de sus respectivos sustratos de carotenoides, AtCCD1 escinde carotenoides lineales y cíclicos en las posiciones 9,10 y 9', 10'. Por ejemplo, cuando β -caroteno sirve como sustrato, AtCCD1 da lugar a dos productos C13 (ambos β -ionona) y un dialdehído C14 central (Figura 4) (Winterhalter y Rouseff 2002).

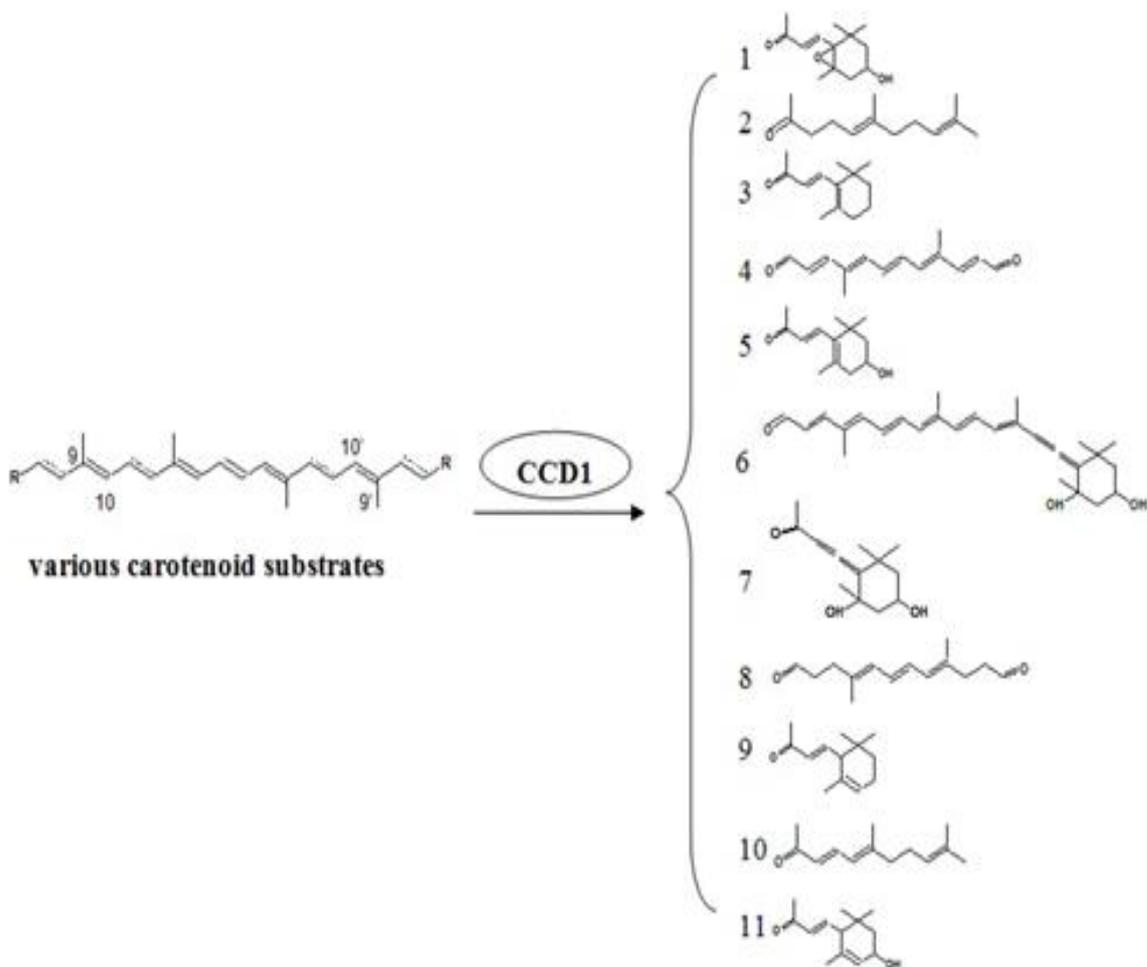


Figura 4: Carotenoides y sus productos de degradación

FUENTE: Mohamed *et al.* (2013)

2.4.3. FACTORES QUE AFECTAN SU COMPOSICIÓN Y RETENCIÓN

A. Proceso de secado

Secado en cabina

Sinuco y Cuervo-Andrade (2016), en su estudio sobre el efecto de la temperatura de secado en los compuestos volátiles del fruto de guayaba, demostraron que el tratamiento térmico producido durante el secado por aire caliente reduce considerablemente el contenido de ésteres. El principal compuesto volátil en la fruta fresca es el 1-hexanol y su contenido es drásticamente disminuido por efecto del secado. También se observa un aumento en la proporción de los aldehídos C6: hexanal, Z-3-hexenal y E-2-hexenal. Los compuestos más volátiles como acetaldehído, acetato de metilo y butanoato de metilo, así como los compuestos terpenicos como cariofileno y (+/-) limoneno presente en la fruta fresca, también se vieron afectados.

Secado por infrarrojos

Timoumi *et al.* (2007), en su estudio sobre el efecto de secado por infrarrojo en el contenido de vitamina C y retención de aroma en rodajas de manzana, encontraron que la pérdida de volátiles aromáticos aumentó con la temperatura. La temperatura varió de 40 a 50 °C y el tiempo de secado se mantuvo constante (dos horas).

B. Temperatura de almacenamiento

La temperatura de almacenamiento es un factor fundamental que afecta el sabor y aroma de las frutas. Así pues, Tietel *et al.* (2012) en su estudio sobre mandarinas encontró que las mandarinas *Odem* son sensibles al enfriamiento, el almacenamiento a 2 °C provocó la acumulación de 13 volátiles, principalmente terpenos y sus derivados, mientras que el almacenamiento a 8 °C dió como resultado una disminución de seis volátiles, que comprende cinco terpenos y un derivado de terpeno.

Para el caso del melocotón *Hujingmilu* la producción de volátiles estuvo marcadamente influenciada por la temperatura y el tiempo de almacenamiento. En general, las frutas a 5 °C son sensibles a la lesión por frío y tienen los niveles más bajos de compuestos volátiles, especialmente de volátiles afrutados tales como ésteres y lactonas (Zhang *et al.* 2011). En el caso del tomate la refrigeración indujo a cambios en los niveles de 3-metilbutanal, linalool, guiacol, hexanol, trans-2-hexenal y trans-3-hexenol. Algunas de estas alteraciones pueden explicarse por una disminución en la actividad de la enzima ADH (Sanchez *et al.* 2009).

C. Extracción de compuestos aromáticos a diferentes valores de pH

Quijano (2011), en su estudio sobre el efecto de la variación del pH en la composición de volátiles de la guayaba, demostró que la extracción L-L (líquido-líquido) a pH ácido natural, se caracterizó por el aroma a guayaba fresca muy dulce lo que es probable que se deba al mayor contenido de ésteres, la mayoría provenientes del etanol, hexanol y alcohol cinámico y ácido principalmente.

Además, presenta una nota ligeramente verde, posiblemente por los aldehídos y alcoholes de seis carbonos. Mientras que el extracto proveniente de los compuestos liberados enzimáticamente se caracteriza por un aroma dulce similar a uno de los productos comerciales de la guayaba conocido como bocadillo, aunque con menor intensidad. Finalmente, el extracto a pH neutro presenta una nota menos floral y ligeramente más alcohólica.

D. Madurez del fruto

Si una fruta es cosechada en etapas tempranas de maduración, será muy probable que no desarrolle completamente sus características de gusto y aroma (Brown *et al.* 1966) y, por otra parte, si la fruta se cosecha sobremadura produce menos compuestos volátiles, que una cosechada en tiempo óptimo (Hansen *et al.* 1992). Obeland *et al.* (2012) observó durante el tiempo de maduración de las paltas *Hass* que la concentración de hexanal, (E) -2-hexenal y 2,4-hexadienal disminuyó en gran cantidad.

E. Medio ambiente y variedad estacional

Salas y Olivas (2011), en su estudio sobre los compuestos volátiles de las manzanas, encontraron que existen varios factores que influyeron en la síntesis de compuestos volátiles, entre los cuales se encuentran el grado de madurez (Paillard 1981), variedad comercial (Cunningham *et al.* 1986), clima (Yahia 1994), fertilización (Forsyth y Webster 1971), uso de reguladores del crecimiento (Abeles *et al.* 1991; Sisler *et al.* 1996) y condiciones de almacenamiento (Yahia 1994).

La altitud y el clima donde se cultiva la manzana tienen influencia en la síntesis de compuestos volátiles. Un estudio realizado con manzana *Golden delicious* cultivada en diferentes localidades, reveló que esa manzana posee mayor concentración de volátiles cuando es cultivada en montaña (Rizzolo y Visai 1990). Asimismo, se ha observado que manzanas cultivadas en climas cálidos tienen una producción ligeramente mayor de ésteres después del almacenamiento en atmósfera controlada (Fellman *et al.* 1997). Por otro lado, una misma variedad de manzana puede diferir en la composición de volátiles, dependiendo de la variación estacional del año en que es cultivada.

2.4.4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN

Previo a los análisis de compuestos aromáticos, dependiendo de la matriz, se encuentran disponibles distintas técnicas de extracción, entre los métodos más comunes se encuentran: Microextracción en fase sólida (SPME), extracción Líquido- Líquido (L-L) y extracción-destilación simultánea (SDE), *headspace* dinámico o estático (HSD, HSS), entre otros.

La microextracción en fase sólida (SPME), se basa en la extracción de compuestos volátiles de una fase líquida o gaseosa mediante un absorbente revestido o adherido a la superficie de una fibra de cuarzo. Cuando la fibra se sumerge en una solución, los solutos se dividen entre el solvente y el absorbente. Cuando la fibra sólo está en contacto con la fase gaseosa de una muestra en un vial cerrado, hay una partición trifásica entre la fibra, el espacio de cabeza y la muestra. Después del equilibrio la fibra se inserta en el inyector caliente de un cromatógrafo de gas para volatilizar los analitos (Brevard *et al.* 2010).

Respecto a las técnicas de detección empleadas en alimentos se encuentran: cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS), cromatografía de gases–detección de ionización de llama (GC-FID), cromatografía de gases-olfatometría (GC-O), valor de la actividad del olor (OAV), detección fotométrica (FPD), entre otros. A continuación, se describen los tres primeros:

A. Cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS)

La cromatografía de gases es una técnica muy utilizada para separar los diferentes compuestos volátiles de una muestra. La fase móvil es un gas inerte, (nitrógeno o helio) que transporta la muestra volatilizada en el inyector a través de la columna cromatográfica. La fase estacionaria generalmente está constituida por una columna de metil polisiloxano, o derivados de éste. Los diferentes compuestos se separan en función de su grado de volatilidad (punto de ebullición, peso molecular) y su afinidad por la fase estacionaria (UCM 2015).

La espectrometría de masas (MS) es una técnica usada para identificar compuestos desconocidos, cuantificar compuestos conocidos, y para elucidar la estructura y propiedades químicas de las moléculas. Permite también en algunas ocasiones determinar el peso molecular del analito. En la espectrometría de masas la muestra es ionizada (y por tanto destruida) usando diversos procedimientos para ello, tales como, el impacto electrónico que consiste en el bombardeo de la muestra (previamente vaporizada mediante el uso del vacío y una fuente de calor) con una corriente de electrones a alta velocidad. Mediante este proceso la sustancia se fragmenta dando lugar a diferentes iones, radicales y moléculas neutras. El registro de estos fragmentos (iones) en función de la relación carga/masa de estos da lugar al espectro de masas, que es particular para cada analito. La asociación de GC y MS da lugar a una técnica combinada GC-MS que permite la separación e identificación de mezclas complejas (Montoya 2013).

B. Cromatografía de gases – detección de ionización de llama (GC-FID)

En cromatografía de gases, el detector de ionización de llama (FID) es uno de los

detectores más extensamente utilizados y, por lo general, uno de los más aplicables en un quemador, el efluente de la columna se mezcla con hidrógeno y con aire para luego encenderse eléctricamente (Gutiérrez y Droguet 2002).

El detector de ionización de llama debido a que es un detector que responde al número de átomos de carbono que entra en el detector por unidad de tiempo, es un detector sensible a la masa, más que un sistema sensible a la concentración. En consecuencia, este detector tiene la ventaja de que los cambios en el caudal de la fase móvil tienen poco efecto sobre la respuesta del detector (Gutiérrez y Droguet 2002).

C. Cromatografía de gases-olfatometría (GC-O)

La GC-O es una herramienta analítica muy importante en el análisis del aroma de los alimentos, ya que nos permite caracterizar el olor de un solo compuesto, o bien el olor de todos los compuestos presentes en una mezcla compleja de volátiles, que sería el caso de los alimentos.

Con la cromatografía de gases logramos separar todos los compuestos volátiles presentes en una mezcla, cada uno de los cuales eluye individualmente por el puerto *sniffing* y es percibido por un catador, el cual tendrá que evaluar la intensidad y cualidad de su olor.

La nariz tiene un límite de detección mucho más bajo que cualquiera de los detectores usados en GC, pudiendo detectar sustancias en concentraciones tan bajas, que sería imposible detectarlas con cualquier otro detector. Debido a los bajos umbrales olfativos de detección que presentan algunos compuestos volátiles, esta técnica resulta muy útil para detectar o estudiar el olor de aquellos compuestos que no pueden ser detectados con un detector analítico. Además, presenta la ventaja de que compuestos volátiles con índices de retención muy próximos, si presentan olores diferentes podrán ser detectados por olfatometría (Díaz 2006).

Los tres principales métodos de GC-O son el análisis de dilución, frecuencia de detección y método de intensidad percibida (Qiao *et al.* 2008).

2.5. SECADO

El secado de frutas es una técnica cada vez más utilizada para reducir el contenido de agua, debido a que tienen en su mayoría humedad superior al 80 por ciento la cual reduce su vida útil significativamente e incrementan el riesgo de crecimiento microbiano (Mujumdar 2015). Sin embargo, las técnicas para este proceso son muy variadas y la calidad final de estas depende tanto de los métodos de secado como de sus parámetros.

2.5.1. SECADO EN CABINA

El secado por aire caliente es el método más utilizado para la conservación de alimentos. Este tipo de secado ofrece productos deshidratados que pueden tener vida útil prolongada, pero con una calidad drásticamente reducida respecto a la del alimento original (Maskan 2001). Para ello es necesario optimizar los parámetros de tal forma de poder minimizar los efectos negativos sobre la calidad final del producto (Cuervo 2011).

Djendoubi *et al.* (2012), en su estudio sobre el secado convectivo de la pera, evaluó dos temperaturas de aire (30 y 70°C), y el efecto de este parámetro en las propiedades físicas (porosidad, contracción, color) y químicas (fenólicas y contenido de ácido ascórbico) de la pera, encontró que hubo una reducción máxima del 30 por ciento del contenido de fenólicos respecto al valor inicial de la pera fresca de 254.90 ± 9.10 mg ácido gálico/100 g de muestra seca, durante el tratamiento de secado de 10 horas a 30°C. Mientras que con el tratamiento de secado a 70°C durante dos horas hubo una reducción del 3 por ciento. Por otro lado, hubo una mayor reducción del contenido de ácido ascórbico con la temperatura más alta de aire de secado.

2.5.2. SECADO POR ATOMIZACIÓN

El proceso de secado por atomización es una de las técnicas más utilizadas para transformar una amplia gama de productos alimenticios líquidos en polvo, debido a los costos de procesamiento comercialmente viables, la buena calidad y estabilidad del producto final (Favaro *et al.* 2010). Se ha utilizado durante décadas para encapsular sabores, lípidos, carotenoides, así como otros compuestos sensibles. Durante este proceso de secado, la

evaporación del solvente, que con mayor frecuencia es agua, es rápida y el atrapamiento del compuesto de interés ocurre casi instantáneamente. Para ello es necesaria la elección de los materiales encapsulantes que se utilizarán además de la optimización de las condiciones de operación. Del mismo modo, si el compuesto encapsulado es de naturaleza hidrofóbica, debe considerarse la estabilidad de la emulsión de alimentación antes del secado (Gharsallaoui 2007).

Angkananon (2015), en su investigación sobre el Gac (*Momordica cochinchinensis* (Lour) Spreng) tuvo como objetivo desarrollar una condición de secado por atomización para esta fruta. Esta se secó por atomización a temperaturas de entrada/salida de 120/66 °C, 150/74 °C y 170/88 °C con y sin adición de maltodextrina como vehículo de secado. La harina obtenida se analizó a nivel fisicoquímico y microbiano. La temperatura de entrada de aire tuvo efectos significativos sobre el contenido de humedad, color, Aw, licopeno, β -caroteno y actividad antioxidante del Gac. El secado por atomización a la temperatura de entrada de 170 °C con 10 por ciento de adición de maltodextrina dio como resultado un mayor contenido de licopeno (1.17 mg/g de polvo), β -caroteno (0.79 mg/g de polvo), y actividad antioxidante (2 998. 33 μ g de equivalentes Trolox/g de polvo) en comparación con la adición de 20 por ciento y 30 por ciento de adición de maltodextrina. Por lo tanto, la condición adecuada para el secado por atomización de Gac, es a 170 °C como temperatura de entrada con adición de maltodextrina al 10 por ciento (p/p).

Fang y Bhandari (2011), en su investigación sobre el secado por atomización del jugo de mora con maltodextrina (DE 10) como vehículo y su posterior almacenamiento a diferentes actividades de agua y temperaturas, encontraron que la retención del contenido fenólico total y antocianinas totales durante el proceso de secado fueron aproximadamente 96 por ciento y 94 por ciento, respectivamente, lo que sugiere que el secado por atomización fue una técnica satisfactoria para secar un fruto rico en polifenoles.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo se realizó en el Instituto de Biotecnología (IBT), área de Biotecnología Industrial & Bioprocesos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. MATERIA PRIMA

Se empleó lúcuma del biotipo “Dos marrón” (patrón palo), procedente del vivero Topara, Fundo Huaquina de la provincia de Chíncha del departamento de Ica, Perú.

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. MATERIALES

- Columna C30 5 μm ; 4.6 mm DI; 250 m YMC (Waters)
- Fibra de micro extracción en fase sólida (SPME) 50/30 μm DVD/CAR/PDMS stableflex (Supelco)
- Material de plástico:
Tubos para centrífuga, puntas para micropipeta, eppendorfs, entre otros.
- Materiales de vidrio:
Placas Petri, matraz Erlenmeyer, embudos, fiolas, vasos de precipitado, matraz Kitasato, embudo Buchner, probetas graduadas, tubos de ensayo, entre otros.
- Micropipetas de 20-200 μL , 100- 1000 μL y 500-5000 μl .
- Otros materiales como:
Cuchillos, tablas de picar, mortero, bolsas de polietileno de baja densidad, bolsas de aluminio, filtros para cromatógrafo, magnetos, entre otros.

3.3.2. EQUIPOS

- Agitador magnético (CAT®, modelo M6, Alemania)
- Analizador de humedad infrarrojo (Sartorius, modelo MA 45, Perú)
- Atomizador (Yamato, modelo ADL311-S, Japón)
- Balanza analítica (OHAUS®, modelo AR2140, EE. UU.)
- Cámara climatizada (MMM, modelo CLIMACELL 404, Alemania)
- Centrífuga (Hettich®, modelo Rotofix 32, Alemania)
- Congeladora (Electroluz, modelo H300, Brasil)
- Cromatógrafo de fase líquida de Alta Performancia (HPLC) (Waters Associates. Modelo 2695) con detector de arreglo de diodos (DAD) (modelo 2996) y detector de fluorescencia (modelo 2475) (Waters, EE. UU.)
- Espectrofotómetro (Thermo Spectronic®, modelo Genesys 10 UV, EE. UU.)
- Espectrómetro de masa (GC MS/MS) (ThermoScientific, modelo TRACE 1310, Italia)
- Estufa al vacío (VWR®, modelo 1400E-2, EE. UU.)
- Licuadora (Oster, modelo 4655-053, México)
- Liofilizador (Labconco®, modelo 117, EE. UU.)
- Molino de laboratorio (IKA, modelo A11 basic, Alemania)
- Potenciómetro (Thermo-Orion®, modelo Star A211, EE. UU.)
- Refractómetro de mano 0-32 °Brix (VWR®, modelo BX Series, EE. UU.)
- Rotavapor (Heidolph®, modelo Laborotta 4000, Alemania)
- Secador en cabina controlado por computador (Edibon, modelo SBANC, España)
- Selladora de bolsas (Machintek®, modelo KF-300H, EE. UU.)
- Vórtex (CAT®, modelo VM2, Alemania)

3.3.3. REACTIVOS

- ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)) (Sigma-Aldrich, EE. UU.)
- Acetona p.a. (J.T. Baker, EE. UU.)
- Acetonitrilo grado HPLC (J.T. Baker, EE. UU.)

- Carbonato de sodio (Merck, Alemania)
- Cloruro de Sodio (Merck, Alemania)
- Diclorometano (Merck, Alemania)
- Folin-Ciocalteu (Merck, Alemania)
- Ftalato ácido de potasio (p.a. Riedel-de Haën, Alemania)
- Hexano (J.T. Baker, Trinidad y Tobago)
- Hexano grado HPLC (J.T. Baker, Trinidad y Tobago)
- Hidróxido de sodio (Merck, Alemania)
- Kit de azúcares-alcohol 47266, conteniendo arabitol, dulcitol, iso-erythritol, glicerol, maltitol, manitol, ribitol, sorbitol y xilitol (Supelco, EE. UU.)
- Kit de azúcares CAR10, conteniendo arabinosa, fructosa, glucosa, galactosa, manosa, ribosa, xilosa y manoheptulosa (Supelco, EE. UU.)
- Kit de ácidos orgánicos 47264, conteniendo acético, adípico, L-ascórbico, benzoico, butírico, cítrico, isobutírico, fórmico, fumárico, láctico, isocítrico, maleico, malónico, málico, oxálico, fítico, propiónico, quínico, succínico, shikimico y tartárico (Supelco, EE. UU.)
- Metanol (J.T. Baker, Trinidad y Tobago)
- Metanol grado HPLC (J.T. Baker, Trinidad y Tobago)
- Metanol grado MS (LiChrosolv®, Merck, Darmstadt, Alemania)

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Según el método 920.151 por pérdida de peso en estufa a presión de vacío (AOAC 2007). Este análisis se realizó tanto en la muestra fresca como en la harina. Los resultados se expresaron en porcentaje y se obtuvo el valor de materia seca por la diferencia del total (100) expresando el resultado también en porcentaje.

3.4.2. SÓLIDOS SOLUBLES

Según el método 932.12 por refractometría (AOAC 2007). El resultado se reportó como porcentaje de sólidos solubles (°Brix).

3.4.3. ACIDEZ TITULABLE

Según el método 942.15 por titulación potenciométrica con NaOH 0.1N (AOAC 2007).

3.4.4. DETERMINACIÓN DE pH

Según el método 981.12. (AOAC 1990).

3.4.5. ANÁLISIS DE COLOR

El análisis del color de la pulpa se realizó por el método CIELAB con un colorímetro triestímulo Minolta. Se determinó los valores L, a* y b* (luminosidad, valor rojo-verde y valor amarillo-azul, respectivamente). El colorímetro se calibró con el azulejo blanco antes de cada serie de mediciones. Se calculó el valor del ángulo hue (H) y croma (C) y ΔE . Se realizó como mínimo seis lecturas de cada fruto, y en el caso de la harina, se realizó tres lecturas.

3.4.6. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS POLARES

Para la extracción se empleó metanol frío y estándar interno. Se inyectó 1 μ l de la solución al cromatógrafo de gases acoplado al espectrómetro de masas (CG/MS). La identificación de los compuestos se dio por comparación con los tiempos de retención de estándares puros previamente inyectados y la cuantificación se hizo con el espectrómetro de masas.

3.4.7. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES

Fue realizada de acuerdo con el método propuesto por Singleton y Rossi (1965). Los compuestos fenólicos fueron extraídos según lo propuesto por Ma *et al.* (2004) con algunas modificaciones: 1 gramo de lúcumo seco fue mezclado con 25 mL de acetona al 80 por ciento en agitación durante 90 minutos. Posteriormente, se centrifugó el extracto a 2800 g, se recuperó el sobrenadante en un frasco ámbar y se almacenó en congelación a -20°C hasta el momento del análisis. Los compuestos fenólicos fueron determinados por reacción colorimétrica de 500 μ l de extracto diluido con 250 μ l el reactivo de Folin-

Ciocalteau 1 N y 1250 µl de solución de carbonato de sodio 1.2 N. Luego de un reposo de 30 minutos en oscuridad, se midió la absorbancia a 755 nm. Se utilizó un blanco de agua destilada y el análisis se realizó por triplicado para cada muestra. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalentes (AGE)/g de materia seca.

3.4.8. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE HIDROFÍLICA *IN VITRO*.

Se empleó el ensayo TEAC (*Trolox equivalent antioxidant capacity*) recomendado por Arnao *et al.* (2001). Los extractos se obtuvieron de acuerdo con lo propuesto por Wu *et al.* (2004) con algunas modificaciones. El extracto fue obtenido a partir de un gramo de lúcuma liofilizada que fue homogenizada en 20 ml de Acetona: agua: ácido acético (70:29.5:0.5, v/v/v) a temperatura ambiente durante 15 minutos y posteriormente centrifugado a 4000 g por 10 minutos a 4°C. La extracción fue repetida luego de recuperar el sobrenadante bajo las mismas condiciones de la primera extracción. Los sobrenadantes fueron mezclados y evaporados en rotavapor a 40°C y presión reducida. El extracto seco fue resuspendido en 10 ml acetona y almacenado en atmósfera de nitrógeno a -20°C hasta el momento del análisis. Los sobrenadantes fueron mezclados y almacenados. Los resultados fueron expresados en µmol de trolox equivalente (TE)/g muestra (bs).

3.4.9. ANÁLISIS DE CAROTENOIDES TOTALES, Y PERFIL DE CAROTENOIDES POR HPLC-DAD

La extracción de carotenoides se realizó utilizando una mezcla de acetona: hexano (1:1, v/v). El extracto fue evaporado a sequedad y re-suspendido en acetona. Este extracto fue usado para la determinación de carotenoides por espectrofotometría y una fracción fue sometida a saponificación para el análisis de β-caroteno por HPLC-DAD. La cuantificación de carotenoides totales se realizó a 450 nm, previamente se estableció una curva estándar usando β-caroteno en acetona como estándar y acetona como blanco. El contenido de carotenoides fue expresado en mg de β-caroteno por gramo de materia seca. La saponificación fue realizada de acuerdo con lo propuesto por Andre *et al.* (2007) y el análisis se realizó por HPLC-DAD siguiendo lo propuesto por Kao *et al.* (2012) con ligeras modificaciones. Los datos de los espectros fueron recuperados durante toda la

corrida en un rango de 330 a 550 nm. Se utilizó una columna YMCTM carotenoid (5 µm, 250 mm x 4.6 mm ID) (Waters, Ireland) la separación se realizó a 30 °C. La fase móvil estuvo compuesta de solvente (A) metanol: acetonitrilo: agua (79:14:7, v/v/v) y solvente (B) cloruro de metileno. La gradiente del solvente fue la siguiente: 5 por ciento B durante nueve minutos, 5-15 por ciento B en 14 min, 15-17 por ciento B en 10 min, 17-29 por ciento B en dos minutos, 29-30 por ciento B en 10 min, 30-34 por ciento B en 21 min y retornado a 5 por ciento B en cinco minutos. Se utilizó el flujo de 1.0 mL/min, se inyectó 20 µL de muestra. Las muestras y fase móvil fueron filtradas previamente a la inyección en HPLC. Los carotenoides fueron identificados por comparación de los tiempos de retención y espectros de absorción con datos reportados en la literatura.

3.4.10. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS

Se pesó 1 g de lúcuma fresca o la cantidad equivalente en materia seca de harina de lúcuma obtenida después del secado, completándose con agua destilada con el fin de alcanzar la humedad promedio inicial del fruto fresco, los que fueron colocados en un vial con septa de silicona, donde se le añadió 1 ml de solución de NaCl (125 mg/ml) para facilitar la extracción de compuestos aromáticos. Las muestras fueron incubadas en un TriPlus RSH autosampler (Thermo Scientific, Zwingen, Switzerland) a 50°C por 15 minutos, seguido de 60°C por 50 minutos con agitación. La extracción fue llevada en 50/30 µm DVD/CAR/PDMS stableflex SPME fiber (Supelco, Switzerland). Los compuestos volátiles retenidos fueron desorbidos en el puerto de inyección del GC a 230 °C. La separación cromatográfica fue realizada en un Trace 1310 GC (Thermo Scientific, Milan, Italy) equipado con una columna TraceTM TR-WAX (0.25 µm, 30 m x 0.25 mm DI, Thermo Scientific) usando un gradiente de temperatura empezando desde 40°C (mantenido por cinco min), con incrementos de 6 °C/min hasta 180°C, seguido de incrementos de 12 °C/min hasta alcanzar 240 °C (mantenido por siete min). Las temperaturas del puerto de inyección, la fuente y la línea de transferencia fueron 250 °C, 230 °C, y 150 °C, respectivamente. El Helio fue usado como gas carrier a una razón en flujo de 1 ml/min.

El análisis de espectrometría de masa fue realizado en un Espectrómetro de masa TSQ 8000 Evo triple quadrupole mass spectrometer (Thermo Scientific, EE. UU.). Los iones

fueron producidos por impacto de electrones (EI) con energía de ionización de 70 eV. Los espectros de masa fueron adquiridos en modo full scan (40 – 400 m/z). Una mezcla de alcanos C10-C24 (Dro-Mix, Sigma Aldrich, USA), fue empleado para calcular los índices de retención (RI, por sus siglas en inglés).

Los compuestos activos del aroma fueron identificados por comparación de los espectros de masa y el RI con la base de NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library (2013). Los compuestos fueron calculados como la relación de áreas respecto al fruto inicial expresados en porcentaje.

3.4.11. DETERMINACIÓN DE LA HIGROSCOPICIDAD

Se determinó mediante el método de Tonon *et al.* (2008). Las muestras de harina (1 g) fueron pesadas en placas Petri y almacenadas en desecadores en presencia de una solución de cloruro de sodio (actividad de agua, $A_w = 0.75$) a temperatura de 20 °C y humedad relativa de 75 % durante una semana, al cabo de este tiempo se determinó la higroscopicidad como la cantidad de agua absorbida/100 g de sólidos.

3.4.12. DETERMINACIÓN DE LA SOLUBILIDAD

La solubilidad (en porcentaje) se determinó usando el método de Eastman y Moore (Cano *et al.*, 2005) con algunas modificaciones. La muestra de harina (1 g) se homogenizó en 100 mL de H₂O y se agitó en un vórtex durante 30 s.

La solución fue colocada en un tubo cónico para centrífuga y se centrifugó a 1479 g durante cinco minutos a 25 °C. El sobrenadante se transfirió a placas Petri previamente pesadas y se secó en estufa a 105 °C durante cinco horas. La solubilidad se calculó como el peso inicial menos el peso final dividido por el peso inicial.

3.4.13. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE

Se determinó a través del método de Goula y Adamopoulos (2005). Un gramo de harina se colocó en un tubo cónico graduado de 15 mL y se agitó un minuto en un *vórtex*. La

relación de masa de la harina y el volumen ocupado en el tubo cónico determina el valor de densidad aparente (g/mL).

3.4.14. RENDIMIENTO

Para el método de secado en cabina: Se calculó como la relación de la cantidad de harina en base seca y el fruto entero fresco.

Para el método de secado por atomización: Se calculó como la relación de los sólidos totales de la harina y los sólidos totales de la mezcla previa a atomizar.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se cosechó 10 kg de lúcuma que han alcanzado la madurez fisiológica (sépalos en la base de la fruta presentan coloración amarillo-anaranjado). Los frutos fueron transportados al laboratorio, previa etapa de selección (Figura 5). Seguidamente, fueron colocados en una cámara climatizada, esta etapa se realizó a 15 °C y 90 por ciento de humedad relativa durante ocho días (tiempo determinado mediante ensayos preliminares), con el fin de alcanzar la madurez organoléptica (Figura 6).

Se tomó 2 1/2 kg de fruto en estado de madurez organoléptica para el proceso de secado en cabina, se procedió al lavado y desinfectado con hipoclorito de sodio (NaClO) 200 ppm. De la muestra considerada se destinó 1/2 kg para los análisis de caracterización de la materia prima y el resto de lúcuma se congeló a – 80 °C para el proceso de secado por atomización.

Para la caracterización inicial, en la materia prima fresca desinfectada se determinó: humedad, pH, acidez titulable, sólidos solubles, y color de la pulpa, humedad, color, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, carotenoides totales, metabolitos primarios (ácidos orgánicos y azúcares) y compuestos aromáticos. Para la caracterización final en la harina de lúcuma obtenida mediante los procesos de secado en cabina y atomización, se determinó: humedad, color, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, carotenoides totales, metabolitos primarios (ácidos orgánicos y azúcares), compuestos aromáticos y la caracterización física de la harina (densidad aparente,

higroscopicidad y solubilidad). Adicional a esto, se calculó el rendimiento del proceso para cada método de secado.

A continuación, se presentan las operaciones unitarias para cada método de secado (Figura 5):

3.5.1. SECADO EN CABINA

- **Pelado y extracción de semilla:** El fruto se peló y se le extrajo las semillas.
 - **Cortado:** La pulpa se cortó en rodajas de aproximadamente 2 mm de espesor.
 - **Secado:** El secado de las rodajas fue a velocidad de aire constante de 1.38 m/s, a temperaturas de 50, 60 y 70°C, hasta alcanzar un contenido de humedad menor o igual al 10 por ciento.
 - **Molienda:** Las rodajas secas fueron molidas con molino de martillos.
- Envasado y almacenado:** La harina obtenida se envasó en bolsas de aluminio y se almacenó a -80°C hasta el momento de su análisis respectivo.

3.5.2. SECADO POR ATOMIZACIÓN

- **Preparación de la mezcla:** Al fruto entero se le extrajo la cáscara, la semilla y el material fibroso, se procedió a la molienda, se añadió agua y encapsulante (maltodextrina) hasta obtener una mezcla homogénea. La concentración de maltodextrina añadida es referente a la cantidad de mezcla total (g). El procedimiento para obtener la mezcla fue el siguiente: primero, la maltodextrina se diluyó en 100 ± 5 gramos de agua en un agitador magnético hasta obtener una solución, la cual se añadió a una licuadora seguida de pasta de lúcuma previamente estandarizada a 20 por ciento de sólidos totales. Por lo tanto, los sólidos totales de la mezcla estuvieron conformados únicamente por los sólidos aportados por la lúcuma (40 por ciento materia seca y 21 °Brix) y la solución de maltodextrina.

Se evaluaron 12 tratamientos, cada cual con tres repeticiones. Se preparó 220 g de mezcla (18 ± 1 °Brix) para cada repetición, constituyendo un total de 7.920 kilos. De tal forma que se empleó 6.6 kilos de fruto de lúcuma para realizar todos los experimentos.

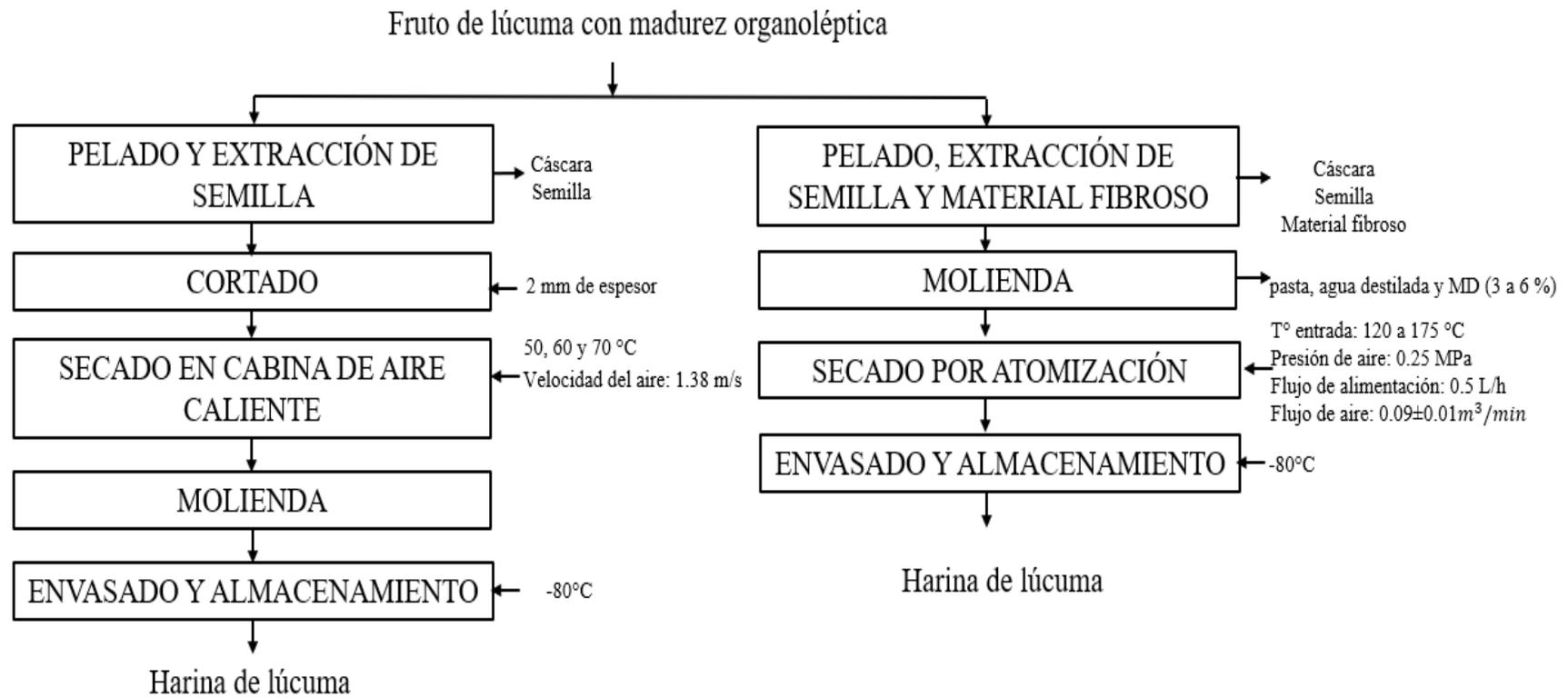


Figura 5: Flujo de operaciones para la obtención de harina de lúcuma mediante secado en cabina y por atomización

- **Secado por atomización:** Las mezclas obtenidas de los 12 tratamientos fueron alimentadas a un Atomizador. Los parámetros controlados fueron: Temperatura de entrada de aire (120 °C, 147.5°C y 175 °C), presión de aire (0.25 MPa), flujo de alimentación (0.5 L/h) y flujo de aire (0.09±0.1 m³/min. Las temperaturas de salida fueron de 70± 5°C; 78±5°C y 88±2°C y fluctuaron en función de las temperaturas de entrada de aire: 120°C; 147,5°C y 175 °C, respectivamente.
- **Envasado y almacenamiento:** La harina obtenida se envasó en bolsas de aluminio y se almacenó a -80 °C hasta el momento de los análisis respectivos.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se evaluó la influencia del método de secado de la lúcuma, en cabina y por atomización “*spray drying*”, en los metabolitos primarios, metabolitos secundarios, compuestos aromáticos, capacidad antioxidante y propiedades físicas (color, solubilidad, higroscopicidad y densidad aparente); mediante el análisis de la harina obtenida. El diseño experimental se puede apreciar en la Figura 6.

3.6.1. PARA EL ESTUDIO DE SECADO EN CABINA

El diseño experimental que se siguió fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) considerando la temperatura de secado como variable independiente o factor con tres niveles: 50, 60 y 70 °C, manteniendo constante la velocidad del aire a 1.38 m/s y un mismo espesor de las rodajas, 2 mm.

Las variables respuesta que se analizaron fueron: humedad, azúcares, ácidos, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, carotenoides totales, compuestos aromáticos, rendimiento, ángulo Hue, solubilidad, densidad aparente e higroscopicidad.

3.6.2. PARA EL ESTUDIO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Se optimizó utilizando la metodología de superficie de respuesta mediante un Diseño Central Compuesto (DCC) 2²+* con cuatro puntos centrales, considerando como variables

	Cosecha	Maduración	Secado	Lúcuma deshidratada
Ensayos	Lúcuma	<p>Cámara climatizada</p> <p>Condiciones:</p> <p>T: 15 °C</p> <p>HR: 90%</p> <p>t: 8 días</p>		<p>Harina de lúcuma</p> <p>Harina de lúcuma</p>
Análisis/Evaluación	<p>Características del fruto:</p> <p>Color amarillo en la región de los sépalos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Físico-químico: acidez titulable, pH, ° Brix, humedad y color. Compuestos bioactivos: fenólicos, y carotenoides Compuestos aromáticos Capacidad antioxidante Contenido de algunos metabolitos primarios: azúcares y ácidos orgánicos. 	<p>En túnel de aire caliente:</p> <p>Temperatura (T)</p> <p>Por atomización:</p> <ul style="list-style-type: none"> Temperatura de entrada de aire (T) Concentración de encapsulante (E) 	<ul style="list-style-type: none"> Físico-químico: humedad, color, solubilidad, higroscopicidad y densidad aparente. Compuestos bioactivos: fenólicos y carotenoides. Compuestos aromáticos Capacidad antioxidante Contenido de algunos metabolitos primarios: azúcares y ácidos orgánicos.

Figura 6: Diseño experimental

respuestas los compuestos bioactivos y la caracterización física de la harina. Este diseño estudió dos factores en 12 tratamientos, con tres repeticiones. El orden de los experimentos fue completamente aleatorizado (Cuadro 2), las dos variables independientes con los límites máximos y mínimos fueron: temperatura de entrada de aire (120 a 175 °C), y concentración de encapsulante (tres a seis por ciento respecto a la cantidad total en gramos de la mezcla). Por otro lado, el diseño experimental que se siguió para la humedad, compuestos aromáticos y metabolitos primarios fue un diseño factorial 3x3x3, considerando tres niveles del factor temperatura (120, 147.5 y 175 °C), tres niveles del factor encapsulante (3, 4.5 y 6 por ciento) y tres repeticiones.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se determinó la falta de ajuste que permitió conocer la existencia o no de ajuste de los resultados experimentales a la ecuación de regresión estimada, siendo no significativa cuando $\alpha > 0.05$, por lo tanto, indica que la data experimental sí se ajusta al diseño empleado.

3.7.1. PARA EL ESTUDIO DE SECADO EN CABINA

Los análisis de los tratamientos se realizaron en tres corridas y los resultados fueron reportados como el promedio de tres repeticiones; analizados con el *software* “Statgraphics Centurion, Stat Point Technologies, inc. Warrenton”, a través de un análisis de varianza (ANVA) seguido de una prueba Tukey para la comparación de medias $p < 0.05$.

3.7.2. PARA EL ESTUDIO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Para el procesamiento de resultados empleados en el diseño de superficie respuesta se utilizó el programa “Statgraphics Centurion, Stat Point Technologies, inc. Warrenton, Virginia USA”. Los modelos y coeficientes de regresión se consideraron significativos cuando $p < 0.05$. Las relaciones entre las respuestas y las variables seleccionadas fueron tratadas a través de una ecuación polinomial de segundo orden. Los niveles mínimo y máximo empleados para cada factor fueron: 120 °C y 175 °C de temperatura de entrada de aire, respectivamente; y en cuanto a la concentración de maltodextrina fueron de 3 y 6 %, respectivamente.

Cuadro 2: Diseño Central Compuesto para optimizar el método de secado por atomización de la lúcuma

Bloques	Temperatura	% Encapsulante
1	120	3
1	175	6
1	147.5	3
1	147.5	4.5
1	120	6
1	147.5	4.5
1	147.5	6
1	120	4.5
1	147.5	4.5
1	147.5	4.5
1	175	3
1	175	4.5
2	120	3
2	175	6
2	147.5	3
2	147.5	4.5
2	120	6
2	147.5	4.5
2	147.5	6
2	120	4.5
2	147.5	4.5
2	147.5	4.5
2	175	3
2	175	4.5
3	120	3
3	175	6
3	147.5	3
3	147.5	4.5
3	120	6
3	147.5	4.5
3	147.5	6
3	120	4.5
3	147.5	4.5
3	147.5	4.5
3	175	3
3	175	4.5

Las variables respuesta: compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, carotenoides totales, solubilidad, densidad aparente, rendimiento y ángulo Hue fueron analizadas estadísticamente por la metodología de optimización de la función deseabilidad, dicho proceso es útil para determinar el nivel de la variable independiente que conlleva a la optimización simultánea de las respuestas. El procedimiento implicó dos etapas, a) se encontró los niveles de las variables independientes que dan lugar a las respuestas más deseables y b) teniendo la respuesta más

deseable para cada variable dependiente se obtuvo la deseabilidad simultánea de estas. Se empleó el procedimiento reportado por Silva *et al.* (2013). Por otro lado, se empleó el programa “*Minitab 17*” para el diseño factorial 3x3x3 a través de un análisis de varianza (ANVA) seguido de una prueba Tukey para la comparación de medias $p < 0.05$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

En el Cuadro 3 se presentan las características físico-químicas de la materia prima habiendo alcanzado madurez organoléptica.

Cuadro 3: Características físico-químicas de la materia prima

Característica físico-química	Contenido*
Humedad (%)	59.27 ± 1.09
Acidez titulable (% ácido cítrico)	0.23 ± 0.01
pH	5.85 ± 0.01
Sólidos solubles (%)	20.93 ± 0.23
Compuestos fenólicos totales (mg AGE / g bs)	1.25 ± 0.09
Capacidad antioxidante hidrofílica (µmol TE/g bs)	19.99 ± 4.03
Carotenoides totales (mg β-Caroteno /g bs)	0.17 ± 0.01

*Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar

La humedad promedio (Anexo 1), es resultado del análisis realizado en 18 lúcumas escogidas aleatoriamente. Este valor se encuentra dentro del rango de 56.03 a 63.16 por ciento en muestras de lúcumas reportados por, García (2016), Erazo *et al.* (1999) e Inga (2004). La variabilidad en los valores de humedad se puede deber a varios factores, entre ellos, a que este fruto es altamente sensible a la pérdida de agua después de la cosecha (Sandoval 1997).

ellos, a que este fruto es altamente sensible a la pérdida de agua después de la cosecha (Sandoval 1997).

Por otro lado, el estado de madurez en el momento de la cosecha y condiciones de almacenamiento también pueden afectar el contenido de humedad del fruto (Fuentealba *et al.* 2016 y Alia-Tejacal *et al.* 2007), justificando la variabilidad de los contenidos reportados

En cuanto a la acidez titulable (Anexo 1) el valor obtenido fue inferior a los determinados por García (2016) y Janampa (2017), con 0.36 y 0.56 por ciento, respectivamente. Respecto al pH (Anexo 1), el valor obtenido fue similar al reportado por García (2016) y Janampa (2017) en muestras de lúcuma, y Ramos-Ramírez *et al.* (2009) en zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H. E. Moore & Stearn), con 5.49, 6.2 y 5.9, respectivamente. El valor reportado de sólidos solubles (Anexo 1), fue inferior al determinado por García (2016) en lúcuma y Bayuelo *et al.* (2007) en mamey, con 23.5 y un rango de 26 a 31 por ciento, respectivamente pero superior al determinado por Janampa (2017) con 18.2 por ciento en lúcuma en estado de madurez fisiológica. Estas diferencias estarían indicando que el estado de madurez de los frutos de la presente investigación varía con el estado de las investigaciones citadas, siendo más próximo al usado por Janampa. Las diferencias en las características físico-químicas que determinan la calidad del fruto se pueden deber a diversos factores, entre ellos: la variedad (Kim *et al.* 1993 a y b), las prácticas agronómicas de precosecha (Romig 1995), el estado de madurez durante la cosecha (Gorny *et al.* 1998), las condiciones fisiológicas del producto fresco (Brecht 1995), el manejo durante la postcosecha y el almacenamiento (Watada *et al.* 1996), las técnicas de procesamiento (Bolin *et al.* 1977, Saltveit 1997, Wright y Kader 1997), la higienización (Hurst 1995), y el adecuado manejo de las temperaturas durante la distribución y la comercialización (Brecht 1999).

Regularmente se considera que el pH aumenta conforme avanza el proceso de maduración (Dadzie y Orchard 1997), mientras que la acidez disminuye debido a que los ácidos orgánicos son sustratos utilizados durante la respiración, por lo que la maduración supone un descenso en la acidez (Jiménez 2002).

De acuerdo con Benavides y Cuasqui (2008), los frutos con patrón respiratorio climatérico, durante el máximo respiratorio desdoblán de manera rápida sus reservas (ácidos orgánicos)

como respuesta al incremento de su metabolismo. Esto explica el menor valor de acidez de la lúcuma en madurez organoléptica (empleada para este estudio) frente a los valores reportados para lúcuma en madurez fisiológica.

Respecto a los sólidos solubles (Badui 2006) menciona que, en la maduración de las frutas climatéricas el etileno provoca la activación de diversas enzimas que catalizan la síntesis de fructosa, glucosa y sacarosa a partir del almidón, por su importancia destacan la sacarosa sintetasa y la invertasa, esto se corroboró con el valor reportado ya que fue superior al mencionado por Janampa (2017).

En cuanto a los compuestos bioactivos, destaca el contenido de compuestos fenólicos debido a su efecto en la promoción de la salud, ya que dentro de sus propiedades se encuentran la reducción del riesgo de cardiopatía, cáncer u otras condiciones asociadas con el envejecimiento. Los mecanismos biológicos detrás de estos promotores de la salud incluyen la protección contra radicales libres, inflamación, alergias, úlceras, virus, tumores y hepatotoxicidad (Dillard y German 2000). En esta investigación el valor reportado fue de 1.25 mg AGE (ácido gálico equivalente)/g bs, siendo superior al mencionado por Fuentealba *et al.* (2016) para lúcuma variedad Leiva 1 (0.7 mg AGE/g bs); y al reportado por Moo-Huchin *et al.* (2014), en mamey (0.14 mg AGE/g bs).

Respecto a la capacidad antioxidante hidrofílica, fue evaluada mediante el método ABTS, el valor obtenido fue superior al reportado por García (2016) para lúcuma seda (17.3 $\mu\text{mol TE/g bs}$) y al mencionado por Fuentealba *et al.* (2016) para lúcuma Leiva 1 (4.8 $\mu\text{mol TE/g bs}$), en ambos casos con madurez comercial al igual que la lúcuma empleada en esta investigación.

Los carotenoides son también compuestos bioactivos, debido a que poseen actividad antioxidante. La composición y biodisponibilidad de los carotenoides en los alimentos está significativamente influenciado por el procesamiento y otras tecnologías de poscosecha (Saini *et al.* 2015). Referente al contenido de estos compuestos, fue inferior al reportado por Fuentealba *et al.* (2016) para lúcuma Leiva 1 (0.23 mg β -caroteno equivalente/g bs) y al mencionado por Moo-Huchin *et al.* (2014), en mamey (0.36 mg β -caroteno equivalente/g bs).

4.2. SECADO EN CABINA

En la Figura 7, se presentan los rendimientos promedio del proceso que se refieren a la cantidad de harina obtenida respecto al fruto entero (Anexo 13), los cuales oscilan en un rango de 27 a 30 por ciento, notándose que existe diferencia significativa entre el rendimiento obtenido a 60 y 70 °C. La pulpa constituye el 70 por ciento del fruto y es la parte que se manipula para obtener las rodajas, a continuación, se procede al secado y molienda.

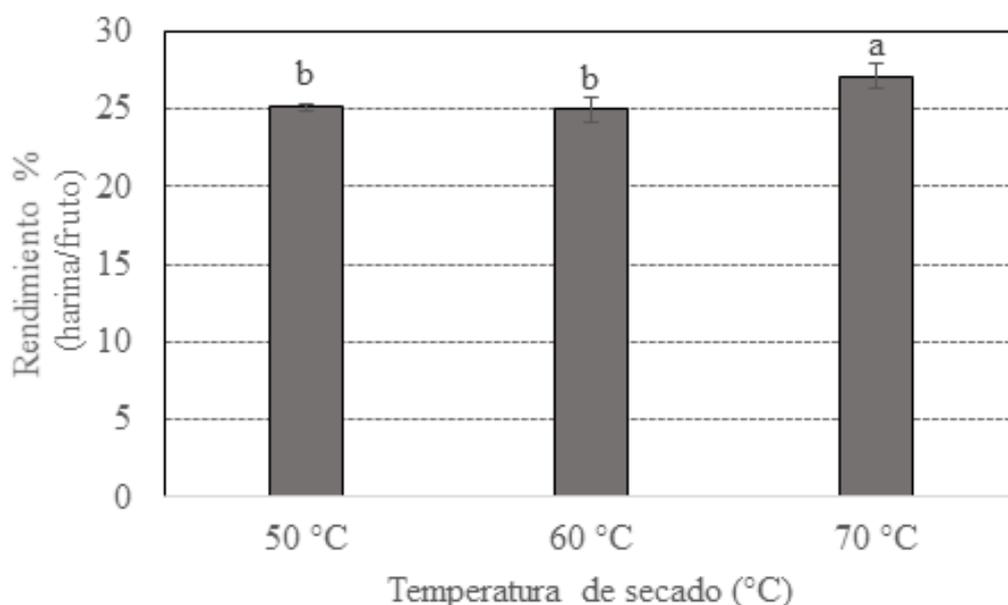


Figura 7: Rendimiento promedio (%) para cada temperatura de secado (°C)

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Se observa que a 50 °C y 60 °C se obtuvo un rendimiento (bs) significativamente menor que al obtenido a 70 °C. Las pérdidas se pueden atribuir a la retención de la harina en la parte interna del molino, lo cual dificultó el recojo de todo el producto. Sin embargo, estos resultados son ligeramente superiores al determinado por Lavado *et al.* (2012) con 25 por ciento para el secado de lúcumas a 65 °C.

En la Figura 8 (Anexo 2, 3 y 4) se presentan las curvas de secado para cada temperatura empleada.

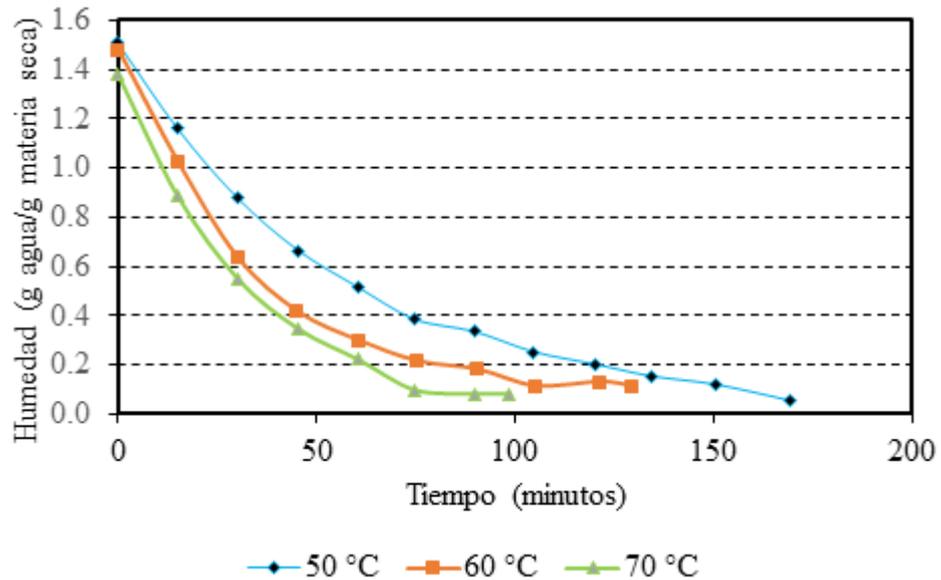


Figura 8: Curvas de secado a 50, 60 y 70 °C (g agua/ g materia seca) para el fruto de lúcuma

Los tiempos de secado necesarios para alcanzar el contenido de humedad final (10.19, 7.52 y 9.50 por ciento) para las harinas obtenidas a 50, 60 y 70 °C fueron de 170, 130 y 99 minutos, respectivamente. Inga (2004) encontró tiempos de secado de: 180, 132 y 70 minutos para las mismas temperaturas de secado en lúcuma. La tendencia decreciente de los valores reportados es coherente con los determinados por otros autores, para verduras y frutas (Akpınar 2006), para higos en mitades (Babalıs y Belessiotis 2004), para rebanadas de mango (Corzo *et al.* 2008). Este fenómeno se explica dado que al incrementar la temperatura de secado aumenta la transferencia de calor facilitando la evaporación del agua (Keqing 2004), de tal forma que se requiere menor tiempo en alcanzar determinada humedad. Esto se corrobora en la Figura 1 ya que, por ejemplo, para alcanzar una humedad de 0.6 g agua/g materia seca, las muestras sometidas a 50, 60 y 70 °C requieren 50, 30 y 25 minutos, aproximadamente.

Se determinó la variación del contenido de humedad de las rodajas de lúcuma desde su contenido de humedad inicial (fruto fresco) hasta la humedad final (harina). La materia prima presentó una pérdida muy significativa de humedad. Para las temperaturas de 50, 60 y 70 °C, las pérdidas de humedad fueron de 50.65, 53.29 y 53.17 por ciento, respectivamente siendo las temperaturas más elevadas (60 y 70 °C) las que presentan un porcentaje mayor de pérdida de humedad. Los resultados obtenidos concuerdan con los descritos por Simal *et al.*

(2005), Vega *et al.* (2007) y Vega-Gálvez *et al.* (2008), en kiwi, aloe y pimiento rojo, respectivamente.

4.2.1. EFECTO DEL SECADO EN CABINA EN LAS CARACTERÍSTICAS BIOACTIVAS DE LA HARINA DE LÚCUMA

En la Figura 9, se observa el efecto de la temperatura de secado en cabina en los compuestos fenólicos (Anexo 7) y la capacidad antioxidante (Anexo 8) de las muestras de harina obtenidas. Así también, se presentan las mismas características en la materia prima (control).

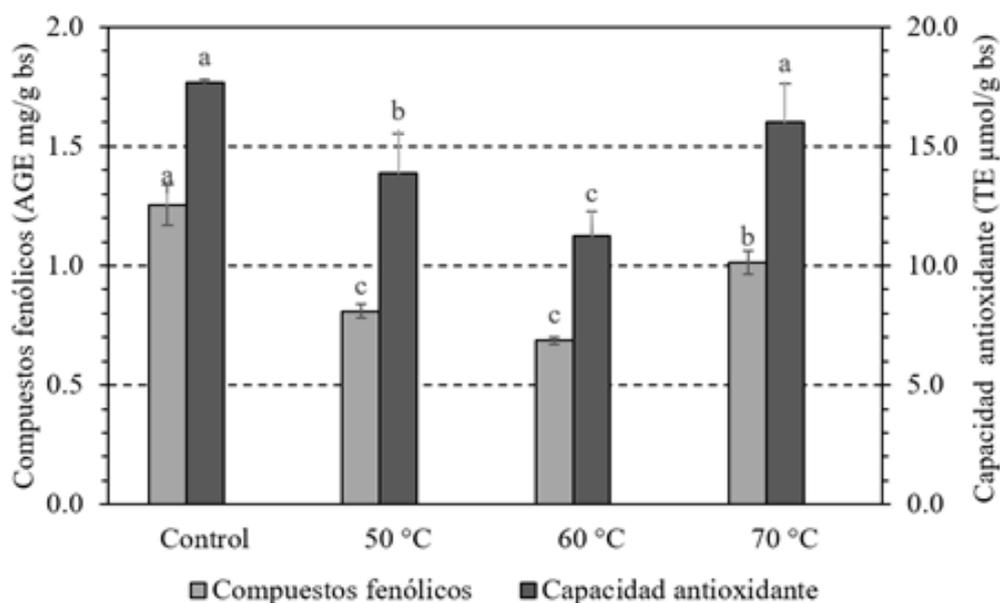


Figura 9: Compuestos fenólicos (AGE mg/g bs) y capacidad antioxidante (TE μmol/g bs) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina

Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Estos resultados indican que los compuestos fenólicos fueron más sensibles al tiempo prolongado de exposición al tratamiento térmico que a la alta temperatura de aire de secado. Siendo así, a temperaturas de 50 y 60 °C se observó una mayor degradación de estos compuestos obteniéndose valores de 0.81 y 0.69 de AGE mg/g bs, respectivamente; mientras que a la temperatura de 70 °C se obtuvo 1.01 de AGE mg/g bs, en este último caso la degradación fue menor respecto a la materia prima, 1.25 de AGE mg/g bs. Estos resultados

tienen concordancia con los obtenidos por Uurrea *et al.* (2012) en secado por convección de zanahoria, produciéndose mayor degradación a 55, 60 y 65 °C que, a temperaturas de secado de 70, 80 y 90 °C. Asimismo, Ahmed *et al.* (2010), en secado por convección de patata dulce, encontró que hubo menor pérdida de polifenoles totales a 65 que a 55 y 60 °C. Esto podría explicarse por lo mencionado por Chism *et al.* (1996), quienes afirman que las cantidades bajas de los fenólicos en frutas secas pueden atribuirse a oxidantes, intensidad y duración del tratamiento térmico. Así también, Martín-Cabrejas *et al.* (2009) y Qu *et al.* (2010) mencionan que esta disminución puede ser atribuida a la unión de polifenoles con otros compuestos (proteínas) o a las alteraciones en su estructura química de tal forma que no puedan ser extraídos y determinados por métodos disponibles. Por otro lado, Nicolas *et al.* (1994), afirman que la actividad de la enzima polifenoloxidasa (PPO) depende de la temperatura y disminuye a temperaturas superiores a 40 °C. A su vez se ve favorecida debido a la presencia de calor y oxígeno. Por lo tanto, la actividad de esta enzima podría haberse disminuido o inactivado al incrementar la temperatura de proceso (70°C).

Por otro lado, la extracción de estos compuestos podría haberse incrementado, ya que como menciona Hossain *et al.* (2010) el secado hace que la liberación de compuestos fenólicos en el disolvente sea más fácil debido a la descomposición de la pared celular relacionado con la eliminación de agua. Pero, el secado no sólo facilita la extracción de fenoles, sino también la liberación de otros compuestos intracelulares, como las enzimas oxidativas, que reducen también el potencial antioxidante durante el proceso de extracción. Sin embargo, las altas temperaturas involucradas durante el secado con aire caliente podrían desactivar dichas enzimas (Chism y Haard 1996).

Respecto a la capacidad antioxidante (Figura 9), se observa que sigue la misma tendencia que la obtenida con los compuestos fenólicos, siendo afectada por el tiempo de exposición al secado. A menor temperatura de aire (50 °C), la capacidad antioxidante es significativamente menor respecto al control, siendo de 13.87 y 17.66 (TE $\mu\text{mol/g}$ bs), respectivamente. Mientras que a 70 °C se obtuvo un valor de 16.01 (TE $\mu\text{mol/g}$ bs), si bien existe una ligera disminución esta es no significativa. Asimismo, Rodríguez *et al.* (2014) encontró que la capacidad antioxidante en bayas de murta deshidratadas mediante secado convectivo, a 70 y 80 °C no presentó diferencia significativa respecto a la muestra inicial, que coincidió con el mayor contenido de fenólicos totales y flavonoides, demostrando que estos compuestos influyen sobre la capacidad antioxidante ya que tienen la capacidad para

actuar como eliminadores de radicales libres producidos durante las reacciones de oxidación. Por otro lado, el valor reportado más bajo de capacidad antioxidante se obtuvo a 60 °C (11.245 TE $\mu\text{mol/g bs}$), posiblemente debido al tiempo prolongado de exposición al tratamiento térmico y al oxígeno debido a que el proceso ocurre en un secador abierto, esto se confirma con lo mencionado por Michalska *et al.* (2016), quienes afirman que la exposición prolongada al oxígeno afectó considerablemente a la capacidad antioxidante, pues al acortar el tiempo de secado a 70 °C se produjo un incremento visible de este parámetro en ciruelas deshidratadas. Según Zielinski y Koslowska (2000) y Nsimba *et al.* (2008), la actividad antioxidante se ve determinada no sólo por los compuestos fenólicos, sino también por los compuestos no fenólicos. Así pues, los carotenoides también tienen actividad antioxidante, teniendo mayor actividad los carotenos (β -caroteno, α -carotenos, licopeno, entre otros) seguido de las xantófilas como la zeaxantina, criptoxantina, luteína, entre otros (Miller *et al.* 1996). Por otro lado, durante la reacción de Maillard también se generan varios productos que tienen poder antioxidante (Yilmaz y Toledo 2005, Morales y Jimenez-Perez 2001). Por lo tanto, se puede presumir que la actividad antioxidante para muestras secas, en parte se atribuye a los productos de la reacción de Maillard.

En la Figura 10, se presenta el efecto de la temperatura de secado en cabina en los carotenoides totales (Anexo 9) de las muestras de harina obtenidas. Así también, se presenta la misma característica en la materia prima (control).

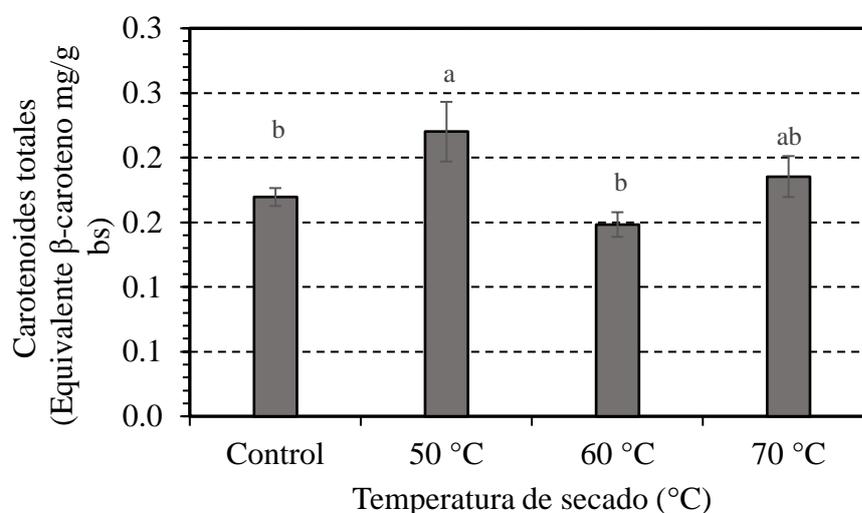


Figura 10: Carotenoides totales (β -caroteno mg/g bs) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Los carotenoides son relativamente estables cuando el secado transcurre a temperaturas bajas (40-60 °C), pero muy sensibles a temperaturas más altas (70-90°C) (Cui *et al.* 2004, Goula y Adamopoulos 2010, Fratianni *et al.* 2010, Hiranvarachat *et al.* 2011). Sin embargo, en los resultados reportados se puede observar que sólo hubo diferencia significativa a la temperatura de 50 °C (0.22 β -caroteno mg/g bs) con un incremento del 30 por ciento de carotenoides totales respecto al control (0.17 β -caroteno mg/g bs), mientras que a 70 y a 60 °C, el contenido de este compuesto fue de 0.185 y 0.148 (β -caroteno mg/g bs), respectivamente notándose un incremento y una disminución no significativa corroborando la estabilidad de los carotenoides frente al tratamiento térmico.

El incremento del contenido de carotenoides se puede explicar con lo mencionado por Tonon *et al.* (2007) quien afirma que los tomates deshidratados pueden contener más carotenoides que los frescos, probablemente como un efecto de concentración por deshidratación, así como por la síntesis *de novo* y la transformación de carotenoides que se presentan en tejidos deshidratados. Asimismo, George y Cenkowski (2009) encontraron un incremento no significativo de carotenoides totales en bayas de espinillo amarillo sometido a temperatura de secado de 70 °C y lo atribuye a factores estructurales. Por otro lado, Regier *et al.* (2005) afirma que en zanahoria deshidratada existe mayor capacidad de extracción de los carotenoides, lo cual podría ser causado por la modificación de la matriz combinada con un incremento en la liberación de licopeno acumulado en los cromoplastos. Así también, Klaui (1973) menciona que en la fruta los ácidos de la vacuola de células naturales tienen un efecto catalizador al entrar en contacto con los plastos que contienen carotenoides cuando las membranas celulares se rompen durante la manipulación o procesamiento. Este puede ser un factor influyente en el contenido de carotenoides, debido a que la lúcuma antes de proceder al secado ha sido manipulada durante el pelado y el rodajeado, de tal forma que se ha facilitado la liberación y extracción de estos compuestos.

Respecto a la reducción no significativa del contenido de carotenoides, Badui (2013) afirma que al ser los carotenoides sustancias liposolubles de estructura insaturada son susceptibles a la oxidación, y esta a su vez se ve influenciada por la actividad de agua, la cual se ve reducida al disminuir el contenido de humedad de un producto (Mujumdar 2010). Respecto a la actividad de agua, Badui (2013) menciona que la oxidación de lípidos se ve incrementada por debajo de la monocapa ocasionada por falta de agua que proteja del oxígeno a la superficie del alimento. Así pues, la oxidación se produce fácilmente en productos muy

secos. Autores como Akanbi y Oludemi (2004), Anguelova y Warthesen (2000), afirman que a actividades de agua intermedias se ejerce un efecto protector, el cual se pierde en los alimentos sujetos a secado. En el presente estudio no se midió la actividad de agua, pero sí el contenido de humedad y se puede observar que la muestra con menor contenido de carotenoides obtenida a 60 °C es la que también tiene un contenido de humedad inferior (7.52 por ciento) frente a las otras muestras.

En el Cuadro 4 se presenta la identificación de los carotenoides presentes en la harina de lúcuma obtenida mediante secado en cabina .

Cuadro 4: Identificación de los carotenoides presentes en harina de lúcuma obtenida mediante secado en cabina

N°	Tiempo de retención (min)	λ máx (nm)	Identificación
1	15	419.2; 443.4; 471.2	Neoxantina
2	16.7	416.8; 441; 471.2	Violaxantina
3	24	448.2;476.1	Isómero luteína
4	25.8	419.2; 441; 466	Cis-violaxantina
5	36.1	425; 453.1; 482.1	Zeaxantina
6	45.8	455.5; 480.9	Criptoxantina
7	61.5	454.3; 480.2	β -caroteno

La harina de lúcuma obtenida mediante el secado por convección y la lúcuma sin procesamiento presentaron el mismo perfil de carotenoides, identificados mediante comparación de tiempos de retención y espectros de absorción con los reportados por Kao et al. (2012). Existieron algunas diferencias en la altura y en el área de los picos. Este perfil a su vez coincide con el reportado por García (2016) en lúcuma con madurez comercial, en el cual destacan los carotenoides identificados, tales como: Neoxantina, Violaxantina, isómero de luteína, cis violaxantina, zeaxantina, criptoxantina y β -caroteno. Los carotenoides se encuentran en la naturaleza, así pues, dentro de los carotenoides reportados se hallan la violaxantina y neoxantina que han sido encontrados en hojas verdes, β -caroteno en zanahorias, luteína en campasúchil, zeaxantina en maíz y criptoxantina en naranja y maíz (Badui 2006). En el Cuadro 5 se presenta el efecto de la temperatura de secado en cabina en la retención (porcentaje) de carotenoides en las muestras de harina (Anexo 14).

Cuadro 5: Efecto de la temperatura de secado en cabina en la retención (%) de carotenoides en las muestras de harina

Carotenoide	Retención* (%)			
	Control	50 °C	60 °C	70 °C
Neoxantina	100 ^{ab}	191.4±55.37 ^a	92.29±35.08 ^b	196.12±34.67 ^a
Violaxantina	100 ^a	140.1±36.63 ^a	86.66±20.79 ^a	97.89±21 ^a
Isómero luteína	100 ^a	123.9±34.91 ^a	98.12±26 ^a	105.98±5.06 ^a
Cis-violaxantina	100 ^b	157.6±20.66 ^a	86.68±19.96 ^b	123.56±32.16 ^{ab}
Zeaxantina	100 ^a	105.9±30.87 ^a	100.34±5.51 ^a	142.88±33.79 ^a
Isómero de luteína	100 ^b	172.6±28.28 ^a	107.19±12.74 ^b	179.06±25.87 ^a
Criptoxantina	100 ^a	92.3±18.96 ^a	N.D.	N.D.
β-caroteno	100 ^a	62.9±15.7 ^b	54.86±11.3 ^b	83.51±12.63 ^{ab}

* Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Se observa que los porcentajes de retención de neoxantina, violaxantina, un isómero de luteína y zeaxantina no se vieron afectados por el secado. De acuerdo con Aparicio et al. (2011), la luteína tiene una mayor resistencia al calor y estabilidad en comparación al β-caroteno y a la criptoxantina; sin embargo, sí se afecta por los cambios en su configuración geométrica, resultado que concuerda con otros estudios realizados por Catignani et al. (1998) y Achir et al. (2010) en sistemas modelo de aceite. Esto es coherente con los resultados reportados en el Cuadro 5, ya que se observa que la temperatura no influyó significativamente en el porcentaje de retención del isómero de luteína. Mientras que el β-caroteno se redujo considerablemente en más del 37 por ciento a temperaturas de 50 y 60 °C notándose así que este compuesto es afectado más por el tiempo de procesamiento que por la temperatura de aire de secado. Este comportamiento también fue reportado por Muratore et al. (2008) en tomates deshidratados y por Saini et al. (2014), Updike y Schwartz (2003) durante la deshidratación térmica de verduras, incluidos los guisantes, brócoli, col rizada, espinacas y maíz.

Por otro lado, Aparicio et al. (2011) menciona que el β-caroteno. y la criptoxantina desaparecen durante el tratamiento térmico. En los resultados reportados se observa que la criptoxantina se degradó totalmente a 60 y 70 °C, mientras que a 50 °C no hubo variación significativa en su contenido respecto al control, por lo tanto, este compuesto se vió afectado significativamente por la alta temperatura de secado y no por el tiempo de procesamiento. Esto puede ser explicado por Anese et al. (2002) quienes afirman que las temperaturas altas,

aún en ausencia de oxígeno, provocan la degradación de los carotenoides. Asimismo, García-Pacheco (2016) determinó que la temperatura de secado tuvo un efecto más notorio sobre la pérdida de carotenoides totales que el tiempo de secado en calabaza. Por otro lado, Lee y Coates (2003), mencionan que existen otros factores que pueden afectar la estabilidad de estos compuestos como: el tipo de carotenoide, la concentración de oxígeno, el grado de exposición a la luz y la matriz alimentaria.

El procesamiento térmico puede causar importantes cambios cuantitativos en los isómeros carotenoides, debido a la posible isomerización trans a cis (Colle et al. 2015). Así pues, Shi (2000), encontró que los cis-isómeros de licopeno que se formaron durante la deshidratación de tomates, se incrementaron con el tiempo y la temperatura de procesamiento.

Por otro lado, Pérez y Fernández (2012) observaron un incremento claro de los isómeros cis de capsanteno, zeaxanteno y β -caroteno durante la deshidratación del pimentón en un rango de temperaturas de 30 a 60 °C. Estos estudios coinciden con los valores reportados, ya que el porcentaje de retención de la cis-violaxantina se incrementó significativamente en un 57.6 por ciento a 50 °C. En general, los isómeros cis de los carotenoides exhiben una actividad provitamina menos potente en comparación con los isómeros trans (Castenmiller y West 1998).

Pérez y Fernández (2012) afirman que existen dos pigmentos que se presentan como los más lábiles al calor, el mutatoxanteno que ya no se detecta a los 70 °C y la violaxantina que desaparece después de tratar a 100 °C. Sin embargo, según lo reportado la violaxantina no se vio afectada significativamente por la temperatura, sino más bien se incrementó en un 40 por ciento a 50 °C, mientras que a 60 y 70 °C la degradación es ínfima.

4.2.2. EFECTO DEL SECADO EN CABINA EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA HARINA DE LÚCUMA

En la Figura 11 (Anexo 6) se observa el efecto de la temperatura de secado en el contenido de humedad de las muestras de harina.

Los valores reportados (10.19 y 7.52) son similares a los obtenidos por Inga (2004) con 9.7 y 8.1 por ciento en muestras de harina obtenidas a 50 y 60 °C, respectivamente. Mientras

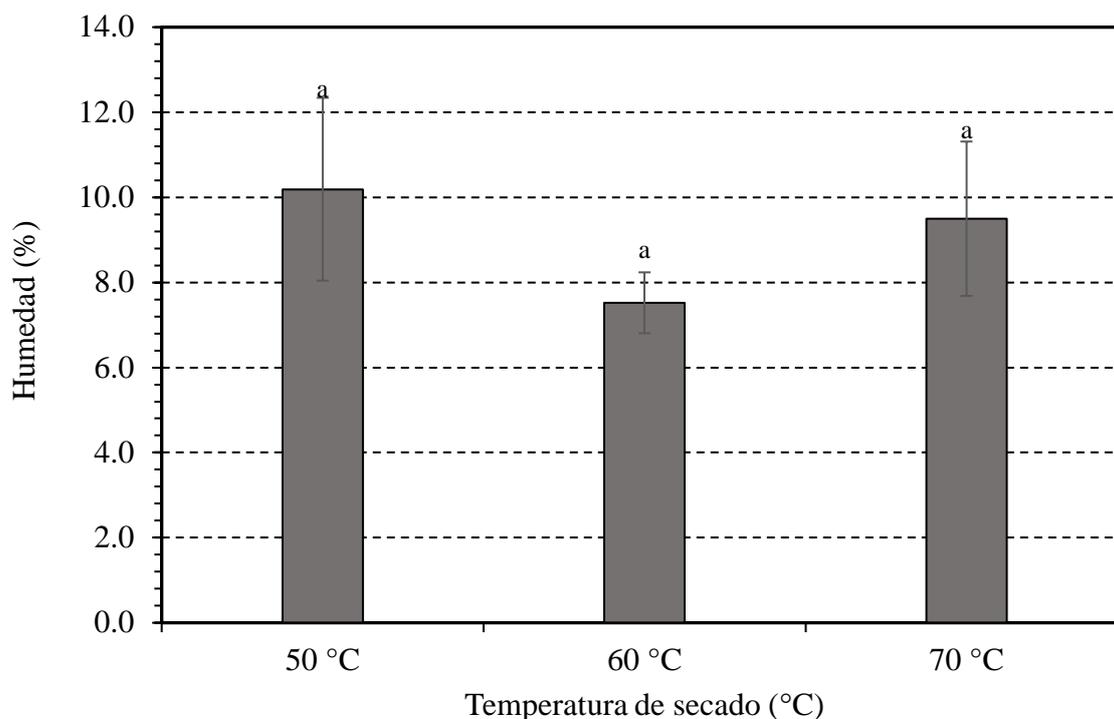


Figura 11: Contenido de humedad promedio (%) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

que a 70 °C se alcanzó una humedad de 9.5 por ciento. Al respecto Vidal *et al.* (1986), menciona que para un mismo producto y a una misma humedad relativa constante se encuentra que la humedad disminuye conforme aumenta la temperatura. Los valores de humedad reportados no presentaron diferencia significativa entre sí. Esto coincide con lo mencionado por Michalskal *et al.* (2017), en grosella negra sometida a secado convectivo a temperaturas de aire de 50, 60 y 70°C.

En el Cuadro 6 (Anexo 32) se observa el efecto de la temperatura de secado en el contenido de azúcares y azúcar alcohol en las muestras de harina, se identificó tres azúcares: glucosa, fructosa y sacarosa, y un azúcar alcohol: myo-inositol en la lúcuma antes y después de ser sometida al secado en cabina. Siendo la glucosa el azúcar predominante tanto para la muestra control, como para las muestras de harina obtenidas a 50, 60 y 70 °C, representando el 50.4, 54.2, 50.51 y 51.92 por ciento de los azúcares. De los otros azúcares identificados, la fructosa es la segunda en contenido.

Cuadro 6: Azúcares* y azúcar alcohol* presentes en las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina

Componente	Contenido* (g / 100 g bs)			
	Control	50 °C	60 °C	70 °C
Glucosa	30.60±1.44 ^a	31.66±4.28 ^a	25.16±0.41 ^a	27.87±3.31 ^a
Fructosa	21.1±1.7 ^a	23.44±3.26 ^a	18.76±1.84 ^a	22.17±2.5 ^a
Sacarosa	8.77±0.15 ^a	3.11±0.99 ^c	5.67±0.35 ^b	1.52±0.13 ^d
Myo-inositol	0.25±0.02 ^a	0.19±0.01 ^b	0.22±0.01 ^{ab}	0.19±0.02 ^b

* Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

El perfil de azúcares es el mismo al reportado por Fuentealba *et al.* (2016) en lúcumo variedad “Leiva”, mostrando diferencias en las concentraciones de sus componentes, siendo de 17.09, 9.87, 3.6 y 0.21 g/100 g bs, para glucosa, fructosa, sacarosa y myo-inositol, respectivamente.

Se puede apreciar, que la sacarosa es el único azúcar que disminuye significativamente a 50, 60 y 70, °C, siendo más marcada esta diferencia a 50 y 70 °C temperaturas a las que coincidentemente se obtiene un mayor, pero no significativo contenido de los otros azúcares respecto al control.

Por lo tanto, se podría asumir que la sacarosa se ha desdoblado en sus dos azúcares simples: glucosa y fructosa por efecto principalmente del tiempo de exposición al tratamiento térmico. Probablemente, estos monosacáridos han reaccionado con alguna proteína dando lugar a la reacción de Maillard que a su vez produce numerosos compuestos, algunos de los cuales poseen aroma y sabor o son polímeros de color oscuro, mientras que ambos reactantes (azúcares reductores y proteínas) desaparecen lentamente (Fennema y Tannenbaum 2010). Asimismo, se pudo dar reacciones de caramelización, disminuyendo el contenido de sacarosa, originando cambios en el color y producción de determinados aromas. Estos posibles cambios en el contenido de sacarosa y la posible formación de compuestos melanoidinas con capacidad antioxidante podría correlacionarse con los datos de capacidad antioxidante (Figura 9), menor contenido de sacarosa y más altos contenidos de capacidad antioxidante a 50 y 70 °C.

En el Cuadro 7 (Anexo 32) se observa el efecto de la temperatura de secado en el contenido de ácidos orgánicos en las muestras de harina, no se encontró diferencias significativas en el contenido de ácido quínico (Anexo 38) entre las muestras de harina respecto al control. El ácido málico se vió incrementado significativamente en las muestras de harina obtenidas a 50 y 70 °C, mientras que a 60 °C el contenido se mantuvo invariable.

Cuadro 7: Ácidos orgánicos* presentes en las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina

Componente	Contenido* (g / 100 g bs)			
	Control	50 °C	60 °C	70 °C
Ácido málico	0.17±0.01 ^b	0.27±0.03 ^a	0.17±0.02 ^b	0.30±0.07 ^a
Ácido quínico	0.08±0.00 ^a	0.09±0.04 ^a	0.07±0.01 ^a	0.08±0.04 ^a

* Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Durante el procesamiento térmico se forman algunos ácidos orgánicos lo que resulta en un aumento global de la cantidad total de ácido orgánico (Chelius *et al.* 2006, Marconi *et al.* 2007). El incremento reportado de ácido málico (Anexo 37) coincide con lo mencionado por Wiese y Dalmaso (1994) quienes observaron un aumento en la concentración de ácido cítrico y málico después del tratamiento térmico en jugo de tomate. Sin embargo, Qiu *et al.* (2018) mencionan que el ácido málico se mantuvo constante a temperaturas de secado de 70 y 100 °C en jugo de tomate. Por otro lado, Villari *et al.* (1994) observaron que conforme aumentaba la temperatura y tiempo de almacenamiento el ácido málico disminuía.

En el Cuadro 8 (Anexo 46) se presentan los valores relacionados al color (L, a* y b*) de las muestras de harina obtenidas mediante las diferentes temperaturas de secado. El índice de saturación o Cromo (C) y el ángulo de matiz (H°), brindan aún más información sobre la distribución espacial de los colores.

El color de las frutas y verduras secas puede indicar nivel de retención de los nutrientes y de pigmentos como carotenoides, flavonoides, fenoles, clorofila y betalaínas (Devahastin y Niamnuy 2010).

Cuadro 8: Valores L, a*, b*, C y H° de las harinas obtenidas a tres diferentes temperaturas de secado**

Parámetros de color	Control	50 °C	60 °C	70 °C
Luminosidad (L)	87.81±0.0 ^a	79.02±0.43 ^c	82.05±0.42 ^b	78.45±1.34 ^c
Tonalidad rojo-verde (a*)	3.39±0.0 ^c	7.58±1.59 ^a	5.09±0.21 ^{bc}	6.49±0.69 ^{ab}
Tonalidad amarillo-azul(b*)	37.04±0.0 ^b	42.37±2.85 ^a	39.88±0.38 ^{ab}	40.58±0.84 ^{ab}
Cromaticidad (C)	37.19±0.0 ^b	43.05±3.08 ^a	40.00±0.31 ^{ab}	41.1±0.79 ^{ab}
Tono o matiz (H °)	84.77±0.0 ^a	79.93±1.47 ^c	82.46±0.42 ^{ab}	80.91±1.04 ^{bc}
Diferencia de color (ΔE)		11.28±2.18 ^a	6.65±0.55 ^b	10.52±1.25 ^a

** Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Se aprecia una disminución significativa en los valores de luminosidad (L) (Anexo 47), siendo más notoria esta variación a temperaturas de procesamiento de 50 y 70 °C. González *et al.* (2008) observó el mismo comportamiento en ají sometido a secado por convección. En relación con la tonalidad rojo-verde (a*) (Anexo 48), esta se vió incrementada significativamente a temperaturas de 50 y 70 °C respecto al control, mostrando una tendencia hacia el enrojecimiento. En cuanto al componente amarillo-azul (b*) (Anexo 49), sólo se observó un incremento significativo a la temperatura de 50 °C. Michalskal *et al.* (2017) también observó un aumento significativo de los valores de a* y b* al someter la grosella negra a tratamiento térmico. Por otro lado, Vega-Gález *et al.* (2009) en el secado de pimienta roja atribuyó el incremento del valor de b* (a medida que aumenta la temperatura) a la generación de productos marrones debido a reacciones de pardeamiento no enzimático.

El valor de tono o matiz (H°) (Anexo 51) se delimita en una rueda de color que va de 0 a 360°, correspondiente a rojo-púrpura en un ángulo de 0°, amarillo a 90°, verde azulado a 180° y azul en 270° (Topuz *et al.* 2009). Los ángulos de tono obtenidos en este estudio pertenecen al primer cuadrante (0 a 90°) lo cual indica que la tonalidad varía desde el rojo hasta el amarillo. Es así como a 60 °C se obtiene harina con valor H° similar al control sin presentar diferencia significativa.

Las harinas obtenidas a 70 °C y 50 °C presentan diferencias significativas con la harina control; el valor obtenido a 50 °C se acerca a la tonalidad amarillo-anaranjado, es decir se aleja del amarillo, esto nos indicaría que pudieron haberse formado compuestos melanoidinos (polímeros de color oscuro), guardando relación con los cambios en el contenido de sacarosa y glucosa; así como los cambios producidos en la capacidad antioxidante, todo esto previamente discutido. Respecto al valor H° obtenido a 60 °C, guardaría relación con el contenido de los carotenoides totales (respecto al control).

El Cromo (C) (Anexo 50) se define como un grado de saturación y proporciona información sobre la intensidad del color de las muestras de alimentos según lo perciben los humanos (Pathare *et al.* 2012). En general, los procesos de secado dieron como resultado un aumento en los valores de croma durante el tratamiento térmico, siendo este significativamente mayor a 50 °C. Michalskal *et al.* (2017) también observó que el valor de croma aumenta considerablemente con el secado por convección en grosella negra.

Lange (1999), menciona que ΔE indica la magnitud de la diferencia de color entre muestras frescas y secas y pueden analizarse analíticamente, clasificados como muy distintos ($\Delta E > 3$), distintos ($1.5 < \Delta E < 3$) y ligeramente distintos ($\Delta E < 1.5$). Se puede apreciar que esta diferencia total de color o ΔE (Anexo 52), en los tres casos es mayor a 3, lo que significa que los clasifica como muy distintos. Aral y Vildan (2016) en su estudio sobre el secado del espino (*Crataegus spp.*), encontraron que conforme la temperatura de secado disminuye, los valores de L y b* también se ven disminuidos, mientras que el valor de a* se ve incrementado.

Por su parte, Djendoubi *et al.* (2012) en su estudio sobre el secado de peras, encontró un incremento del valor a*, y menciona que las reacciones enzimáticas debido a la polifenoloxidasasa y/o no enzimáticas a temperaturas altas (60-70 °C), son los factores que contribuyen a este cambio de color. Asimismo, reporta que la diferencia total de color era mayor para aquellas muestras que estaban expuestas a más tiempo de secado respecto a las muestras con menor tiempo de exposición y mayor temperatura de secado. A su vez Miranda *et al.* (2009) en su estudio sobre el aloe vera, encontró valores altos de diferencia total de color en muestras sometidas a altas temperaturas de secado debido al efecto en componentes sensibles al calor como proteínas y carbohidratos.

En los resultados reportados en lúcumá, se observa que la diferencial total es superior para las muestras de harina sometidas tanto a 50 °C como a 70 °C, lo que indica que el color es afectado no sólo a temperaturas altas de secado sino también por el tiempo de exposición. Por otro lado, se obtuvo menor diferencial de color a la temperatura de 60 °C, siendo significativamente menor frente a las otras temperaturas, esto coincide con lo mencionado por George y Cenkowski (2009), quienes encontraron que los parámetros de color del espino deshidratado sometido a 60 °C eran los más cercanos a la muestra fresca.

El aroma es uno de los más significativos y decisivos parámetros de calidad en la elección de un producto (Crouzet *et al.* 1995). Inga *et al.* (2019), detectó dieciséis compuestos aromáticos, como responsables de las notas de olor dulce, verde y rancia, características de esta fruta. En esta investigación se detectaron siete, probablemente sea una variedad distinta a la empleada. En el Cuadro 9 (Anexo 60) se presenta la influencia de la temperatura de secado en la retención (expresado en diferencial de retención respecto a la muestra fresca en base seca, considerado como 100 por ciento) de los compuestos aromáticos presentes en la lúcumá al ser sometida a secado en cabina.

Cuadro 9: Diferencial de retención (%) de los compuestos aromáticos en las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina

Compuesto aromático	Diferencial de retención* (%)		
	50 °C	60 °C	70 °C
2,3-butanodiona	-38.3±10.45 ^b	-34.91±6.75 ^b	-61.44±2.54 ^a
(E)-2-hexenal	-55.79±7.3 ^b	-79.21±11.01 ^a	-68.24±2.38 ^{ab}
Ácido acético	+22.51±7.6 ^a	+39.78±29.41 ^a	+39.14±22.44 ^a
Ácido butanoico	+37.5±28.12 ^a	+11.32±9.14 ^a	-19.95±9.14 ^a
3-metil-1-butanol	+27.95±21.46 ^a	-7.52±4.95 ^a	+15.48±2.34 ^a
Ácido hexanoico	+43.52±24.50 ^{ab}	+7.27±1.83 ^b	+45.6±5.16 ^a
3(E)-ácido hexenoico	+46.29±6.14 ^a	+38.46±18.47 ^{ab}	-15.02±8.2 ^b

* Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Signo positivo indica incremento, signo negativo indica disminución.

Los aldehídos y alcoholes han sido descritos como los principales compuestos volátiles en frutas (Defilippi *et al.* 2009). Así pues, los aldehídos prevalecen en el melón (Pang *et al.* 2012), caqui (Wang *et al.* 2012), guayaba (Egea *et al.* 2014), cempedak (Buttara *et al.* 2014), mango (Munafo *et al.* 2014) y tomate (Selli *et al.* 2014) (Du *et al.* 2015). Estos pueden estar relacionados con notas verdes y herbáceas (Melgarejo *et al.* 2012). Así pues, dentro de los compuestos aromáticos identificados en la lúcuma se encuentran aldehídos, cetonas, ácidos, alcohol isoamílico. Entre ellos el 2.3 butanodiona, (E)-2-hexenal, ácido acético, ácido butanoico, 3 metil-1 butanol, ácido hexanoico y el 3(E)-ácido hexenoico.

El ácido butanoico conocido por tener un olor potente, penetrante, agrio difusivo, a mantequilla rancia (Arctander 1969), ha sido identificado también en plátanos (Aurore *et al.* 2011) y en fruta madura de umbu (Galvao *et al.* 2011).

Respecto al ácido hexanoico, éste ha sido hallado en mora, tomate, granada (Syd *et al.* 2019), en piña (Aurore *et al.* 2011) y en vinos (Sánchez *et al.* 2015). El ácido butanoico y el hexanoico son compuestos predominantes en el aroma de las fresas (Hirvi 1983 y Pyysalo *et al.* 1977), en grosella (Liu *et al.* 2017) y también se consideran precursores en la formación de ésteres, alcoholes y aldehídos (Paillard 1979).

Respecto al ácido acético, ha sido identificado también en mora, granada (Syd *et al.* 2019) y en grosella (Liu *et al.* 2017). En relación con el alcohol alifático 3-metil-1-butanol identificado en la lúcuma, también se halló en alta concentración en vinos blancos (Sánchez *et al.* 2015).

Por otro lado, la cetona 2.3 butanodiona se identificó en plátanos variedad “*Cavendish*”, este compuesto es conocido por su contribución al aroma agradable a fruta (Aurore *et al.* 2011), dulce y caramelo (Choi *et al.* 2018).

Finalmente, el aldehído (E)-2-hexenal conocido por aportar las notas verdes (Choi *et al.* 2018), se ha hallado en altas concentraciones en plátano variedad “*Plantain*” (Aurore *et al.* 2011), en kiwi (García *et al.* 2013) y en granada (Melgarejo *et al.* 2011). Según Cadwallader (2018), los aldehídos y cetonas son generalmente inestables y pueden ser transformados a otros volátiles a través de otras reacciones químicas. Esto se corrobora

durante el secado por convección de lúcumo, ya que se observa una disminución significativa de la cetona 2,3-butanodiona al someter el fruto a temperaturas de aire de secado de 50, 60 y 70 °C, con pérdidas del 38.3, 34.9, 61.4 por ciento, respectivamente y del aldehído (E)-2-hexenal con pérdida del 79.2 por ciento a 60 °C.

Así también, Ramshaw y Hardy (1969) mencionan que, durante el secado convectivo de uvas, se pierden los principales volátiles (incluidos cetonas, alcoholes y aldehídos alifáticos), entre ellos el (E)-2-hexenal se pierde casi en su totalidad. Boudhrioua *et al.* (2002) afirma que la temperatura relativamente alta de secado puede dañar algunos de los compuestos aromáticos mientras provoca la formación de los otros.

Asimismo, Bruin (2000) menciona que los cambios en el aroma pueden ocurrir durante la concentración y el secado, estos cambios generalmente disminuyen la calidad del producto. Además, estos componentes son a menudo más de 100 o incluso 10 000 veces más volátiles que el agua y por lo tanto, se espera que se elimine casi completamente en un proceso diseñado para eliminar el agua por evaporación.

Respecto a los ácidos, el ácido acético y el ácido butanoico se mantuvieron invariables durante el proceso de secado; asimismo el 3 metil-1 butanol (alcohol isoamílico). Flink y Karel (1970) afirman que la retención de algunos compuestos originales después del secado puede deberse a su menor volatilidad. Además, dado que los volátiles son generalmente más grandes que las moléculas de agua, es posible que no se difundan fácilmente o que estén atrapados (Rulkens 1973).

En relación con el ácido hexanoico y al 3(E)-ácido hexenoico, se observa un significativo incremento durante el secado, siendo más notorio a 50 °C. Esto se puede explicar con lo mencionado por Buttey (1993), quien afirma que los compuestos aromáticos a menudo se liberan al romperse las células cuando las enzimas y sustratos previamente compartimentados interactúan.

Asimismo, Ramshaw y Hardy (1969) afirman que un menor contenido de humedad aumentaría la autooxidación química de lípidos para producir compuestos de aroma, pero con algunas diferencias particularmente en las concentraciones relativas de componentes.

Finalmente, en relación con los compuestos aromáticos, el objetivo fue encontrar la muestra de harina cuyos porcentajes de retención de compuestos aromáticos sean lo más próximo a la muestra fresca (en base seca) tal como se indica en el Cuadro 9, siendo las harinas obtenidas a 50 y 60 °C la más similares.

A continuación, se observa la influencia de la temperatura de secado en la solubilidad promedio (Figura 12), la cual varía desde 47.15 hasta 50.37 por ciento para la harina obtenida a 70 °C (Anexo 12). Sin embargo, no existe diferencia significativa entre las muestras. Por lo tanto, la temperatura no ejerció efecto sobre este parámetro.

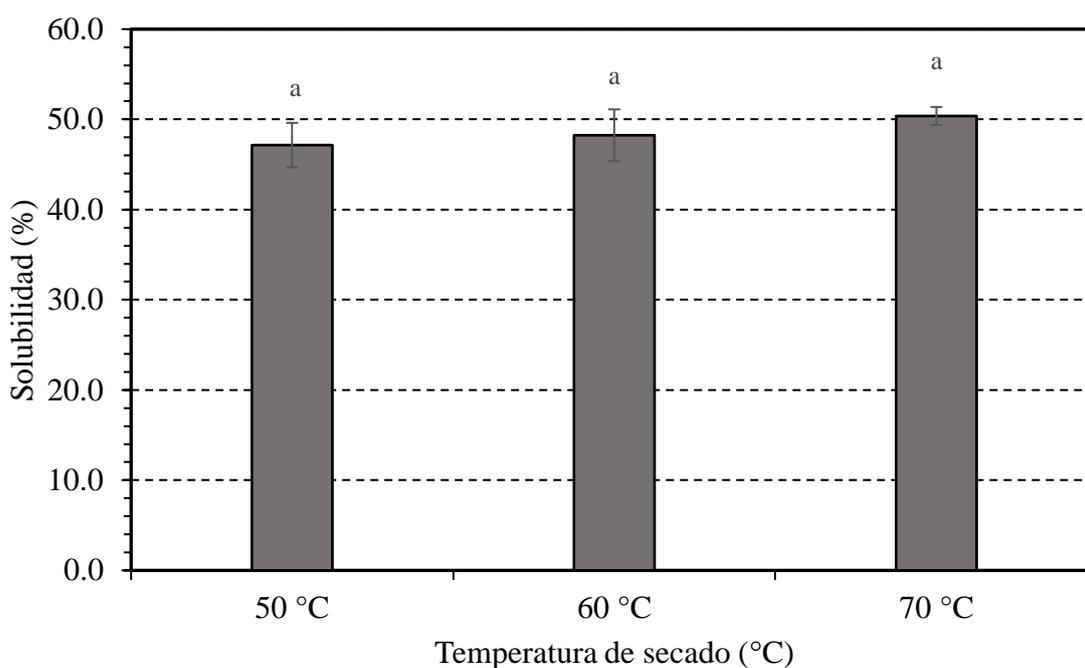


Figura 12: Solubilidad promedio (%) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

La solubilidad es uno de los parámetros físicos más importantes que determinan las propiedades funcionales de los productos en polvo. La solubilidad de los productos secos, es decir, la velocidad de disolución está relacionada con la presencia de pequeñas moléculas hidrófilas y su capacidad para interactuar con el agua (Selomulya y Fang 2013).

Se evidencia que el valor de 51.6 por ciento es coherente con el obtenido por Inga (2004), con 56 para la misma temperatura. Mayor solubilidad implica mayor cantidad de sólidos solubles, es decir la parte no soluble en su mayoría estaría formada por almidones que no han sufrido transformación durante el proceso de secado (Inga 2004). Esto se corrobora en los resultados ya que, si bien no existe diferencia significativa entre las muestras, se aprecia que sí existe una tendencia creciente, de tal forma que a 70 °C se obtiene mayor solubilidad frente a los otros tratamientos. Michalskal *et al.* (2017) tampoco encontró diferencia significativa en la solubilidad de las muestras de harina de grosella negra obtenidas a 50, 60 y 70 °C. Los estudios han demostrado que hay una relación inversa entre el contenido de humedad y la solubilidad de los polvos secos (Goula *et al.* 2004 y Quek *et al.* 2007). Esto guarda relación con los valores reportados para las temperaturas de 50 y 60 °C.

En la Figura 13 se puede observar el efecto de la temperatura de secado en la higroscopicidad de las muestras de harina (Anexo 11), evidenciándose que no existe diferencia significativa entre las muestras.

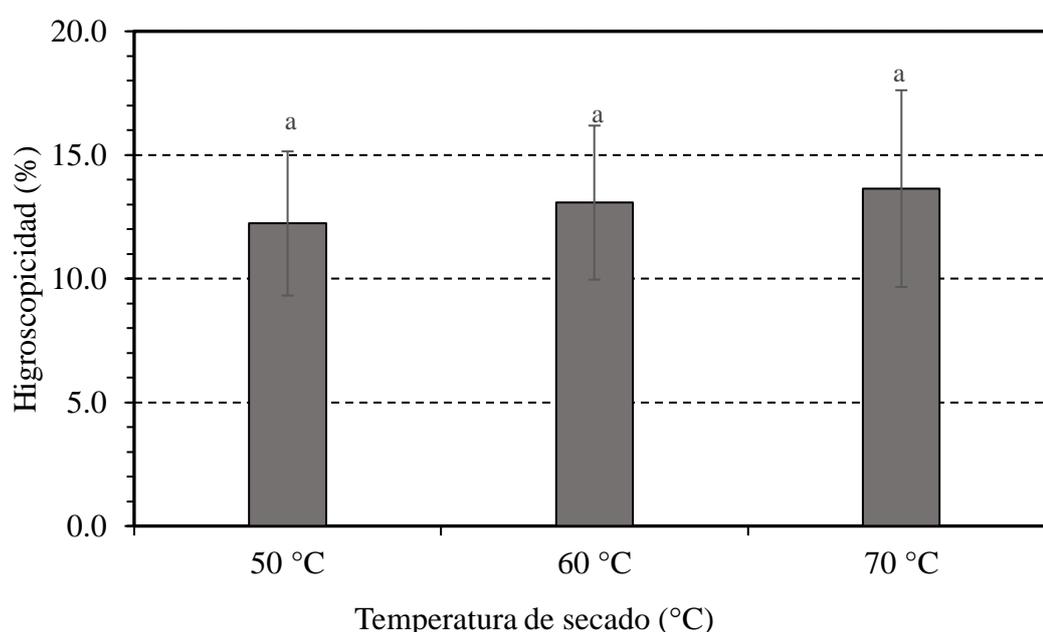


Figura 13: Higroscopicidad promedio (%) de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

La higroscopicidad es la capacidad de un material para absorber la humedad del ambiente circundante, y es un criterio de evaluación importante debido a la posibilidad de adherencia de la harina durante su almacenamiento y distribución. Por ende, es una propiedad que debe considerarse en el procesamiento de los alimentos ya que influye en la estabilidad alimentaria (Kurozawa *et al.* 2009).

Según Scher *et al.* (2009) los monosacáridos como la glucosa y la fructosa favorecen la higroscopicidad, es por ello que le atribuye la alta higroscopicidad de frambuesa en polvo, a la gran cantidad de sólidos solubles de la muestra. Cabe mencionar que gran cantidad de los azúcares del fruto de lúcuma están constituidos por fructosa y glucosa, lo cual podría haber influenciado en la propiedad evaluada.

Por otro lado, Ferrari *et al.* (2012) encontraron que los valores de higroscopicidad de mora en polvo aumentaron inversamente con el contenido de humedad. Esta relación no se cumplió en su totalidad en el presente estudio, ya que sólo se observó esta tendencia en las muestras sometidas a 50 y 70 °C.

En la Figura 14, se puede observar el efecto de la temperatura de secado en los valores de densidad aparente promedio para las muestras de harina (Anexo 10), que corresponden a: 0.63, 0.65 y 0.69 g/mL para las temperaturas de 50, 60 y 70 °C, respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro del límite establecido para otros productos como pasas, naranja, jugo de granada y manzana (Papadakis *et al.* 2006, Chengini y Ghobadian 2005, Ochoa *et al.* 2011).

Según los valores reportados la temperatura de secado no ejerce efecto sobre este parámetro, así también otros autores encontraron el mismo comportamiento como por ejemplo Djendoubi *et al.* (2012) al analizar la densidad aparente en peras deshidratadas térmicamente y Michalskal *et al.* (2017) en el secado por convección de grosella negra.

Desde el punto de vista práctico, este parámetro es de gran importancia económica, ya que influye en el costo del material de embalaje y el transporte, pues mientras más alta sea la densidad aparente, la harina requerirá menos volumen cuando se empaquete. Además, una alta densidad aparente generalmente significa que hay menos espacios vacíos entre partículas

disponibles para ser ocupadas por aire, lo que puede ayudar a prevenir la oxidación y aumentar la estabilidad de la harina (Kurozawa *et al.* 2009, Goula y Adamopoulos 2008).

De acuerdo con Bhandari *et al.* (2013) la mayor densidad aparente se observa para la temperatura de secado más alta. En los resultados reportados no existe diferencia significativa a nivel estadístico; sin embargo, sí se presenta una tendencia positiva ya que conforme aumenta la temperatura de secado, aumenta la densidad aparente.

La densidad aparente puede depender del estado del polvo y por lo tanto de la susceptibilidad a la trituración, que está influenciada por el contenido de humedad. Así pues, Caparino *et al.* (2012) encontró que la densidad aparente en el mango no sólo se ve influenciada por la estructura de los polvos (superficie plana porosa con el contenido de aire oculto) sino también por el contenido de aire intersticial proporcionado por la distribución del tamaño de partícula y la aglomeración (Bhandari *et al.* 2013).

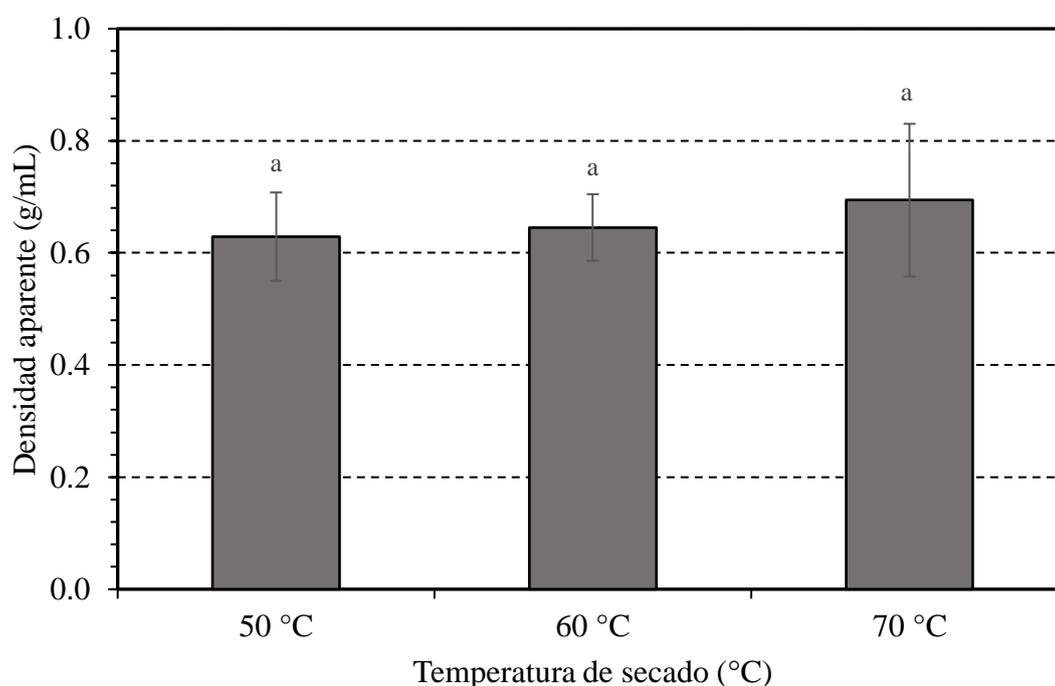


Figura 14: Densidad aparente (g/mL) promedio de las muestras de harina obtenidas mediante secado en cabina

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de tukey ($p < 0.05$)

4.2.3. ELECCIÓN DEL TRATAMIENTO DE SECADO EN FUNCIÓN A LA RETENCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS BIOACTIVAS, FÍSICO-QUÍMICAS Y AROMÁTICAS DE LA HARINA DE LÚCUMA

Se elaboró un cuadro comparativo (Cuadro 10) de las características físico-químicas y bioactivas, además del rendimiento de la harina obtenida para cada temperatura de secado.

Cuadro 10: Cuadro comparativo de los compuestos bioactivos y físico-químicos de la harina obtenida mediante secado en cabina

Características	Objetivo	Temperatura de entrada de aire		
		50 °C	60 °C	70 °C
Compuestos fenólicos (AGE mg/g bs)	Maximizar	0.81±0.03 ^b	0.69±0.01 ^c	1.01±0.05 ^a
Capacidad antioxidante (TE μmol/g bs)	Maximizar	13.87±0.79 ^a	11.25±0.64 ^b	16.01±1.12 ^a
Carotenoides totales (β-caroteno mg/g bs)	Maximizar	0.22±0.02 ^a	0.15±0.01 ^b	0.19±0.02 ^{ab}
Solubilidad (%)	Maximizar	47.15±2.46 ^a	48.24±2.87 ^a	50.37±1 ^a
Higroscopicidad (%)	Minimizar	12.23±2.91 ^a	13.08±3.11 ^a	13.64±3.98 ^a
Densidad aparente (g/mL)	Maximizar	0.63±0.08 ^a	0.65±0.06 ^a	0.69±0.14 ^a
Angulo Hue (°H)	Maximizar	79.93±1.47 ^a	82.46±0.42 ^a	80.91±1.04 ^a
Rendimiento (%)	Maximizar	25.1±0.26 ^b	24.96±0.79 ^b	27.14±0.77 ^a

* Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

En cuanto a los compuestos bioactivos se puede apreciar que en la harina obtenida a 70 °C existe una mayor extracción de compuestos fenólicos, seguida de la harina obtenida a 50 °C. Esta última a su vez presenta alta capacidad antioxidante y mayor contenido de carotenoides totales. Sin embargo, no existen considerables diferencias en la caracterización física en comparación a las otras harinas.

Respecto a los compuestos aromáticos, en el Cuadro 9 se puede observar que la harina obtenida a 50 °C es la que retiene mejor estos compuestos. Por lo tanto, se selecciona la temperatura de 50 °C como el tratamiento más adecuado de secado en cabina para conservar los compuestos bioactivos y aromáticos de la lúcuma.

4.3. SECADO POR ATOMIZACIÓN

El Cuadro 11 muestra el diseño experimental con los valores tanto para las variables independientes como para las de respuesta.

Cuadro 11: Resultados del diseño experimental

Corridas	Factores (Variables independientes)		Variables respuesta							
	X1	X2	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
1	120.0	3.0	51.14	19.84	0.51	34.00	1.12	24.28	0.12	80.29
1	175.0	6.0	53.76	21.00	0.43	35.00	1.20	25.99	0.12	80.38
1	147.5	3.0	50.59	18.50	0.51	36.80	1.24	27.43	0.15	79.36
1	147.5	4.5	52.33	18.82	0.49	35.81	1.28	25.17	0.16	77.34
1	120.0	6.0	52.47	14.78	0.48	32.76	0.98	19.69	0.16	77.92
1	147.5	4.5	52.83	18.61	0.48	35.00	1.22	25.14	0.15	78.24
1	147.5	6.0	50.79	17.27	0.49	33.70	1.11	20.55	0.14	78.51
1	120.0	4.5	52.84	16.87	0.50	32.00	1.12	23.29	0.14	78.18
1	147.5	4.5	51.31	18.09	0.46	36.00	1.24	24.36	0.16	78.40
1	147.5	4.5	51.90	18.88	0.45	37.00	1.22	26.31	0.16	77.46
1	175.0	3.0	51.90	20.88	0.46	39.73	1.33	30.07	0.14	82.43
1	175.0	4.5	53.76	20.47	0.40	38.00	1.31	27.28	0.14	79.49
2	120.0	3.0	51.37	19.47	0.52	33.00	1.14	26.55	0.12	80.53
2	175.0	6.0	53.69	20.09	0.43	34.20	1.21	24.10	0.12	81.10
2	147.5	3.0	50.56	18.93	0.49	35.90	1.10	29.11	0.15	79.67
2	147.5	4.5	50.85	19.54	0.47	36.00	1.24	25.53	0.15	78.00
2	120.0	6.0	52.31	14.83	0.51	32.86	1.02	20.58	0.15	77.31
2	147.5	4.5	51.77	18.54	0.45	36.00	1.29	25.84	0.15	78.06
2	147.5	6.0	50.62	17.25	0.49	34.00	1.11	26.12	0.15	78.20
2	120.0	4.5	52.25	16.63	0.48	33.00	1.16	21.09	0.15	79.01
2	147.5	4.5	53.00	17.86	0.45	35.20	1.23	25.12	0.15	78.72
2	147.5	4.5	51.80	17.21	0.46	36.00	1.26	25.09	0.16	76.98
2	175.0	3.0	53.59	20.73	0.46	39.21	1.26	27.96	0.13	82.47
2	175.0	4.5	54.16	20.58	0.43	37.00	1.33	29.02	0.14	80.76
3	120.0	3.0	50.80	19.02	0.49	33.20	1.13	24.18	0.13	80.59
3	175.0	6.0	54.20	20.97	0.44	34.90	1.19	27.08	0.30	81.10
3	147.5	3.0	50.42	18.00	0.48	37.70	1.23	27.46	0.15	79.95
3	147.5	4.5	51.90	18.72	0.47	35.80	1.18	25.11	0.15	77.20
3	120.0	6.0	51.34	15.47	0.50	32.72	1.06	20.27	0.15	78.00
3	147.5	4.5	52.25	18.87	0.49	37.00	1.22	25.15	0.15	78.66
3	147.5	6.0	50.44	17.03	0.48	33.70	1.08	25.40	0.15	78.38
3	120.0	4.5	52.94	15.96	0.48	34.00	1.14	23.08	0.15	78.82
3	147.5	4.5	51.74	17.69	0.48	35.90	1.23	25.02	0.15	78.75
3	147.5	4.5	51.73	17.31	0.45	35.00	1.25	25.90	0.15	77.71
3	175.0	3.0	52.17	20.98	0.48	39.80	1.30	29.11	0.14	82.44
3	175.0	4.5	53.99	20.45	0.41	36.00	1.35	27.87	0.14	80.68

* X1: Temperatura (°C), X2: Encapsulante (%), Y1: Solubilidad (%), Y2: Higroscopicidad (%), Y3: Densidad aparente (g/mL), Y4: Rendimiento (%), Y5: Compuestos fenólicos (AGE mg/g bs), Y6: Capacidad antioxidante (TE μ mol/g bs), Y7: Carotenoides totales (β -caroteno mg/g bs), Y8: Ángulo Hue

Se utilizó el Método de superficie respuesta para optimizar cada variable respuesta (compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, carotenoides, solubilidad, higroscopicidad, densidad aparente, rendimiento y ángulo Hue), considerando formas lineales, cuadráticas y de interacción de las variables independientes a un nivel de confianza del 95 por ciento.

4.3.1. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS BIOACTIVAS DE LA HARINA DE LÚCUMA

A. Análisis de la superficie respuesta de compuestos fenólicos

En el Cuadro 12 se presenta el Análisis de Varianza del modelo cuadrático para los compuestos fenólicos.

Cuadro 12: Análisis de Varianza (ANVA) del modelo cuadrático para los compuestos fenólicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0.1458	1	0.1458	138.15	0.0000*
B: Encapsulante	0.0440056	1	0.0440056	41.70	0.0000*
AA	0.000561125	1	0.000561125	0.53	0.4722
AB	0.00009075	1	0.00009075	0.09	0.7716
BB	0.0555	1	0.0555	52.59	0.0000*
Falta de ajuste	0.00141262	3	0.000470875	0.45	0.7220
Error puro	0.0284953	27	0.00105538		
Total (corr.)	0.278688	35			
R ² = 89.3 %	R ² ajustado = 87.5 %				

* Significancia a un nivel de $\alpha=0,05$

El ANVA mostró que la temperatura de entrada de aire y la concentración de encapsulante, en sus formas lineales, asimismo la forma cuadrática del encapsulante, fueron significativas para el contenido de compuestos fenólicos. El modelo explicó un 87.5 por ciento de la variabilidad (R² ajustado). La ecuación de regresión cuadrática que describe el efecto de las variables independientes en el contenido de compuestos fenólicos es la siguiente:

$$FC = 0,434321 - 0,000294215 * A + 0,29037 * B + 0,0000110744 * A^2 - 0,0370185 * B^2$$

En la Figura 15, se aprecia el efecto de la temperatura de entrada de aire (°C) y del encapsulante añadido (por ciento) sobre los compuestos fenólicos (mg AGE/g bs) en las muestras de harina, mediante superficie respuesta.

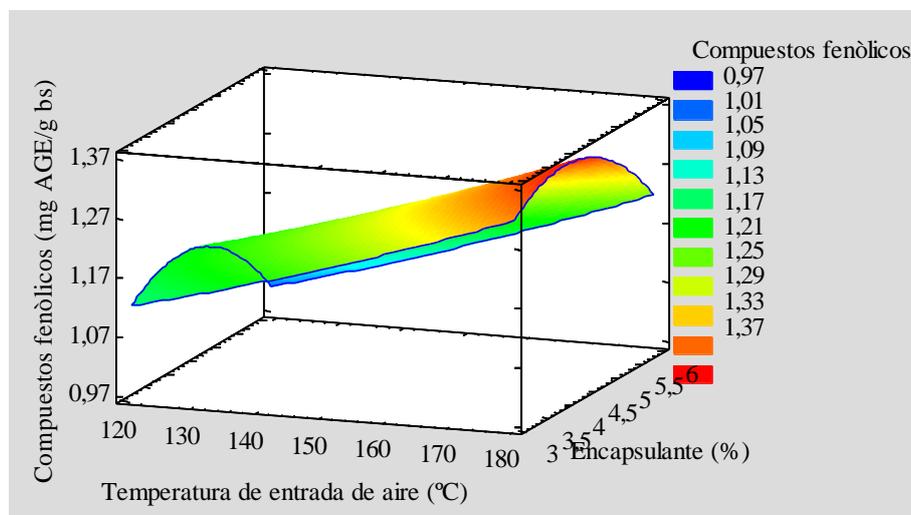


Figura 14: Superficie de respuesta de los compuestos fenólicos (mg AGE/g bs) de las muestras de harina en función de los factores: Concentración de encapsulante (%) y Temperatura de entrada de aire (°C)

Se observa que el valor óptimo de compuestos fenólicos (1.34 AGE mg/g bs) se obtuvo con la temperatura de entrada de aire más alta (175 °C) y con la concentración de maltodextrina de 4 por ciento. Esto guarda coherencia con los resultados reportados por Arrazola *et al.* (2014) quien menciona que cuando se emplean temperaturas bajas de aire de entrada, la mayoría de los encapsulados muestran una superficie porosa, rugosa y con hendiduras, que puede incurrir en problemas en sus propiedades de flujo y presentar partículas con grandes áreas de contacto que pueden hacerlas más susceptibles a reacciones de degradación, tales como la oxidación; sin embargo, cuando la temperatura de aire entrada es alta, se obtiene un mayor número de partículas con superficie lisa, indicando un proceso de microencapsulación más homogéneo y más estable. Sin embargo, Mishra *et al.* (2013) menciona que al atomizar frutos de amla (*Emblica officinalis*) encontró que los compuestos fenólicos disminuyen al incrementarse la temperatura de entrada de aire, pero que a temperaturas superiores a 175 °C esta tendencia se invierte, debido a la polimerización y/o síntesis de polifenoles. No obstante, Leite *et al.* (2018) y Gorena

et al. (2010) observaron que la temperatura no ejerció efecto alguno sobre este parámetro en guanábana y jugo de granada, respectivamente. Otros autores como Rodríguez- Hernández *et al.* (2005), Shishir y Chen (2017) mencionan que la conservación de estos compuestos bioactivos puede estar relacionada con el tiempo relativamente corto de contacto entre la alimentación y el aire caliente durante el proceso de secado por aspersión, lo que permite mantener ciertas características. Por otro lado, Saiki *et al.* (2015) y Zapata *et al.* (2015) afirman que estos biocompuestos se concentran por la eliminación de humedad o porque la aplicación de calor durante el proceso de secado contribuye a la escisión de compuestos fenólicos que se encuentran en forma glicosilada y que tienen alta reactividad con el reactivo de Folin-Ciocalteu, conduciendo a un valor elevado de compuestos fenólicos totales.

En relación con el contenido de maltodextrina, Igual *et al.* (2014), Qi y Xu (1999) afirman que este encapsulante tiene un efecto protector que contribuye al mantenimiento de las propiedades funcionales del producto, tales como la estabilidad contra oxidación que se atribuye a su capacidad de formación de película y propiedades plásticas. Mishra *et al.* (2013), observaron que los compuestos fenólicos se ven reducidos al aumentar la concentración de maltodextrina de 5 a 9 por ciento. En este estudio se reportó que la concentración de maltodextrina adecuada para optimizar fenólicos es de 4 por ciento, mientras que a mayores o menores concentraciones los compuestos fenólicos se ven disminuidos.

B. Análisis de la superficie respuesta de la capacidad antioxidante

En el Cuadro 13 se presenta el Análisis de Varianza del modelo cuadrático para la capacidad antioxidante.

Al evaluar el coeficiente de determinación (R^2) se pudo establecer que el 83.6 por ciento de variabilidad de los resultados es explicado por el modelo cuadrático. Además, existe un alto grado de correlación entre los valores experimentales y estimados, debido a que el R^2 fue 0.836 y el R^2 ajustado de 0.808. La temperatura de entrada de aire y la concentración de encapsulante, en sus formas lineales, fueron significativas para la capacidad antioxidante.

Cuadro 13: Análisis de Varianza (ANVA) del modelo cuadrático para la capacidad antioxidante

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	119,418	1	119,418	89,51	0,0000*
B: Encapsulante	69,9429	1	69,9429	52,42	0,0000*
AA	1,97375	1	1,97375	1,48	0,2344
AB	2,4246	1	2,4246	1,82	0,1888
BB	0,48462	1	0,48462	0,36	0,5517
Falta de ajuste	2,0409	3	0,6803	0,51	0,6788
Error puro	36,0235	27	1,3342		
Total (corr.)	231,882	35			
R ² = 83.6 %	R ² ajustado = 80.8 %				

* Significancia a un nivel de $\alpha=0.05$

La ecuación de regresión cuadrática que describe el efecto de las variables independientes en el contenido de capacidad antioxidante es la siguiente:

$$AOX = 12,7196 + 0,238384*A - 3,90595*B - 0,000656804*A^2 + 0,109389*B^2$$

En la Figura 16 se aprecia el efecto de la temperatura de entrada de aire (°C) y el encapsulante (por ciento) añadido sobre la capacidad antioxidante (TE $\mu\text{mol/g}$ bs) en las muestras de harina, mediante superficie respuesta.

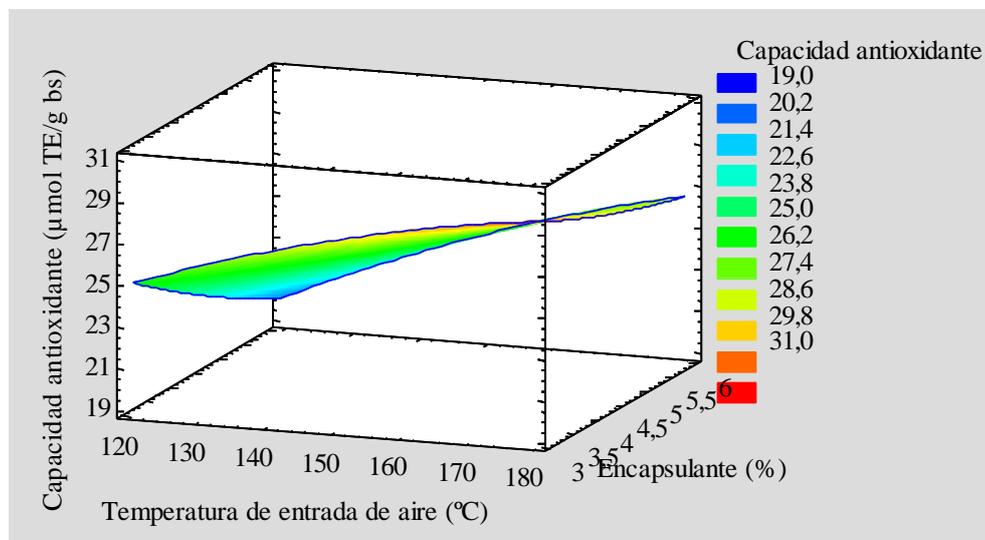


Figura 15: Superficie de respuesta de la capacidad antioxidante (TE $\mu\text{mol/g}$ bs) de las muestras de harina obtenidas mediante atomización en función de los factores: Concentración de encapsulante (%) y Temperatura de entrada (°C)

Se observa que el valor óptimo de capacidad antioxidante (29.31 TE $\mu\text{mol/g bs}$) se obtuvo con la temperatura de entrada de aire más alta (175 °C) y con la concentración mínima de maltodextrina de 3 por ciento. Sin embargo, Kha *et al.* (2010) mencionan que conforme aumenta la temperatura de entrada de aire disminuye la actividad antioxidante.

El valor reportado puede estar directamente relacionado al incremento que se presentó en la concentración de polifenoles, ya que entre más alta sea la presencia de compuestos fenólicos, mayor será la capacidad antioxidante (Chaikham *et al.* 2017).

Este comportamiento, puede ser atribuido a que, posiblemente durante el secado como lo mencionan Saikia *et al.* (2015) y Saikia *et al.* (2014), se producen reacciones de oxidación que llevan a la oxidación de polifenoles que en la medición de la capacidad antioxidante muestran valores incluso mayores que la de los polifenoles no oxidados, esto se puede deber a la presencia de compuestos en el material vegetal distintos a los polifenoles, que contribuyen a aumentar el potencial antioxidante en las muestras. Otra causa como lo mencionan Saikia *et al.* (2014) podría ser, la generación de compuestos melanoidinos, que ocurren a altas temperaturas de proceso; estos productos, pueden actuar como antioxidantes y a su vez, mejorar la actividad, solos o en combinación con otros compuestos fenólicos naturales.

En relación con la concentración de maltodextrina, se reportó que se obtuvo óptima capacidad antioxidante con la concentración mínima de maltodextrina. Mishra *et al.* (2017) observaron el mismo comportamiento en el secado de amla, ya que el aumento de la concentración de maltodextrina dió lugar a una menor capacidad antioxidante.

Según Mishra *et al.* (2017), esto puede deberse al efecto de dilución de la maltodextrina cuando se elevó su concentración, pues no posee capacidad antioxidante. Sin embargo, esto contradice lo mencionado por Kha *et al.* (2010), quienes encontraron que al variar el nivel de maltodextrina de 10 a 20 por ciento no hubo un efecto significativo sobre la actividad antioxidante total de la harina de gac (*Momordica cochinchinensis* (Lour) Spreng).

C. Análisis de la superficie respuesta de los carotenoides totales

En el Cuadro 14 se presenta el Análisis de Varianza del modelo cuadrático para los carotenoides totales.

Cuadro 14: Análisis de Varianza (ANVA) del modelo cuadrático para los carotenoides totales

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0,000296056	1	0,000296056	14,81	0,0007*
B: Encapsulante	0,0000245	1	0,0000245	1,23	0,2780
AA	0,00105035	1	0,00105035	52,56	0,0000*
AB	0,0012	1	0,0012	60,05	0,0000*
BB	0,000369014	1	0,000369014	18,46	0,0002*
Falta de ajuste	0,000158903	3	0,0000529676	2,65	0,0690
Error puro	0,000539583	27	0,0000199846		
Total (corr.)	0,00428275	35			
R ² = 83.7 %	R ² ajustado = 81 %				

* Significancia a un nivel de $\alpha=0.05$

Al evaluar el coeficiente de determinación (R^2) se pudo establecer que el 83.7 por ciento de variabilidad de los resultados es explicado por el modelo cuadrático. Además, existe un alto grado de correlación entre los valores experimentales y estimados, debido a que el R^2 fue 0.837 y el R^2 ajustado de 0.81. La temperatura de entrada de aire en su forma lineal y cuadrática, la concentración de encapsulante en su forma cuadrática y la interacción de ambos factores fueron significativas para el contenido de carotenoides totales.

La ecuación de regresión cuadrática que describe el efecto de las variables independientes en el contenido de carotenoides totales es la siguiente:

$$CT = -0,38038 + 0,00541313*A + 0,063702*B - 0,0000151515*A^2 - 0,000242424*A*B - 0,00301852*B^2$$

En la Figura 17 se aprecia el efecto de la temperatura de entrada de aire ($^{\circ}C$) y el encapsulante (por ciento) añadido sobre los carotenoides totales (β -caroteno mg/g bs) en las muestras de harina, mediante superficie respuesta.

La composición de los carotenoides en frutas y hortalizas es mucho más compleja y variable, con variaciones incluso en los carotenoides principales. Por lo general, las frutas contienen algunos carotenoides principales junto con una serie de carotenoides menores en trazas o muy bajos niveles. En frutas maduras los carotenoides se encuentran en los cromoplastos y los hidroxicarotenoides que están principalmente esterificados con ácidos grasos (Rodríguez-Amaya 2008).

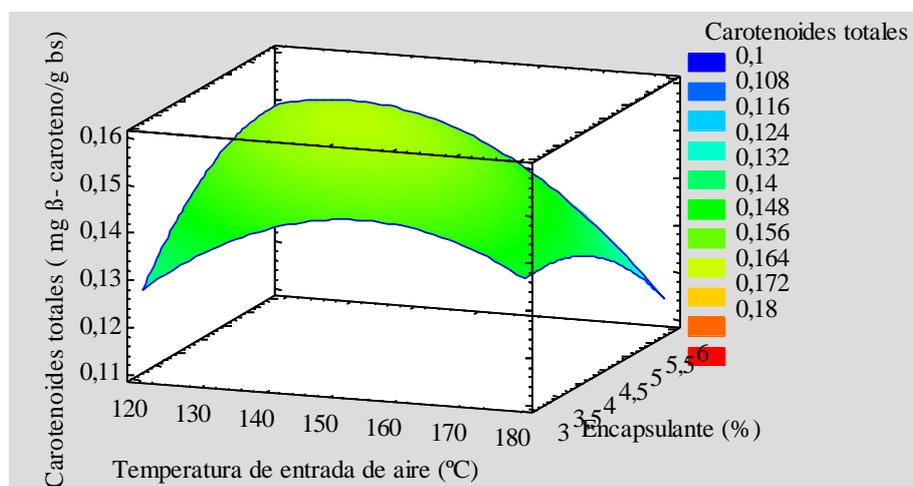


Figura 16:Superficie de respuesta de carotenoides (β-caroteno mg/g bs) de las muestras de harina obtenidas mediante atomización en función de los factores: Concentración de encapsulante (%) y Temperatura de entrada (°C)

En la Figura 17 se observa que el valor óptimo de carotenoides fue de 0.15 (β-caroteno mg/g bs) y se obtuvo al emplear la temperatura de entrada de aire de 138.8 °C y la concentración de maltodextrina de 4.9 por ciento. Siendo la temperatura un factor influyente se aprecia que conforme aumenta la temperatura después de los 138.8 °C, los carotenoides se ven disminuidos obteniéndose el valor mínimo a los 175 °C. Según Rodríguez-Amaya (2008), la temperatura elevada y una mayor exposición a la luz solar aumentan la carotenogénesis en los frutos, pero también pueden promover la fotodegradación del carotenoide (Rodríguez-Amaya 2008). Sin embargo, Cortés-Rojas *et al.* (2015) afirman que el método de secado por atomización, aunque utiliza temperaturas de entrada altas, el tiempo de secado es muy corto, por lo que el proceso se lleva a cabo casi instantáneamente; por lo tanto, no influye en las pérdidas de compuestos bioactivos.

Por otro lado, Rodriguez-Amaya (1999) afirman que la alteración o pérdida de carotenoides durante el procesamiento y almacenamiento de los alimentos se produce a través de la eliminación física (por ejemplo, el pelado), isomerización geométrica, y oxidación enzimática o no enzimática. La oxidación enzimática puede ocurrir en mayor medida que la degradación térmica. Esta oxidación ocurre antes del tratamiento térmico durante el pelado, rebanado, despulpado o exprimido (Azevedo-Meleiro y Rodriguez-Amaya 2005). Por lo tanto, un factor para la degradación de carotenoides reportados en el presente estudio pudo haber sido la manipulación previa del fruto para obtener la pasta que se empleó como alimentación del proceso de aspersión.

Respecto a la concentración de maltodextrina, a pesar de no ser significativa, se obtuvo un valor óptimo de carotenoides con una concentración media de 4.9 por ciento, mientras que a concentraciones menores o mayores se obtuvo menor contenido de carotenoides. Este mismo comportamiento fue reportado por Oberoi y Sogi (2015) quienes encontraron que, a mayor contenido de encapsulante, se obtienen niveles reducidos de licopeno y carotenoides totales en harina de sandía.

En el Cuadro 15 se aprecia la identificación de los carotenoides presentes en la harina de lúcumo obtenida mediante secado por atomización.

Cuadro 15: Identificación de los carotenoides presentes en harina de lúcumo obtenida mediante secado por atomización

Nº	Tiempo de retención (min)	λ máx (nm)	Identificación
1	15	419.2; 443.4; 471.2	Neoxantina
2	16.7	416.8; 441; 471.2	Violaxantina
3	24	448.2; 476.1	Isómero luteína
4	25.8	419.2; 441; 466	Cis-violaxantina
5	36.1	425; 453.1; 482.1	Zeaxantina
6	61.5	454.3; 480.2	β -caroteno

La harina de lúcumo obtenida mediante secado por atomización presentó un perfil de carotenoides muy similar al de la harina obtenida mediante secado por convección. La identificación de estos compuestos se realizó mediante la

comparación de tiempos de retención y espectros de absorción con los reportados por Kao *et al.* (2012).

A continuación, en el Cuadro 16 (Anexo 23) se puede observar el efecto del factor temperatura de entrada de aire (único factor influyente) en sus tres niveles en el porcentaje de retención de carotenoides.

Cuadro 16: Efecto de la temperatura de entrada de aire (°C) y concentración de encapsulante (%) en la retención (%) de carotenoides en las muestras de harina

Carotenoide	Retención* (%)			
	Control	175 °C / 4.5% MD	147.5 °C / 4.5% MD	120 °C / 4.5% MD
Neoxantina	100 ^b	188.9 ± 35.57 ^{ab}	125.85 ± 72.44 ^{ab}	211.84 ± 28.43 ^a
Violaxantina	100 ^a	138.27 ± 32.13 ^a	87.97 ± 34.75 ^a	128.31 ± 11.45 ^a
Isómero luteína	100 ^a	118.73 ± 21.04 ^a	74.18 ± 27.98 ^a	99.6 ± 13.56 ^a
Cis-violaxantina	100 ^a	155.78 ± 36.7 ^a	95.55 ± 54.44 ^a	146.8 ± 20.04 ^a
Zeaxantina	100 ^a	102.43 ± 9.92 ^a	58.45 ± 35.61 ^a	89.95 ± 24.27 ^a
Isómero de luteína	100 ^a	178.06 ± 24.17 ^a	105.4 ± 47.2 ^a	157.66 ± 34.79 ^a
Criptoxantina	100 ^a	N.D.	N.D.	N.D.
β-caroteno	100 ^a	56.85 ± 2.32 ^b	45.32 ± 10.02 ^b	48.42 ± 7.94 ^b

* Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

El contenido de violaxantina, isómero de luteína, cis-violaxantina y zeaxantina no se vieron afectadas por los tratamientos de atomización. Achir *et al.* (2015) afirma que las xantófilas son menos estables que los carotenos debido a la presencia de grupos hidroxilo. Esto se puede corroborar en el Cuadro 16 con la criptoxantina (xantófila) la cual desaparece totalmente en los tres tratamientos, mientras que el β-caroteno no desapareció en su totalidad, pero sí se vió reducido en más del 55 por ciento.

Rodriguez-Amaya (1999) afirman que durante el procesamiento de alimentos existen las condiciones necesarias para la oxidación e isomerización de los carotenoides así pues la degradación oxidativa es la principal causa de grandes pérdidas de carotenoides, depende de la disponibilidad de oxígeno y es estimulada por el calor, la luz, presencia de enzimas, metales y cooxidación con hidroperóxidos

lipídicos. Así también, Nguyen *et al.* (2001) afirma que la estabilidad térmica de los carotenoides se ve afectada por su estructura química, forma molecular, solubilidad, hidrofobicidad, estado cristalino, etc.

Por otro lado, Lee y Coates (2003) y Rodríguez-Amaya (1999) afirman que la violaxantina es uno de los carotenoides más lábiles y se isomeriza fácilmente en presencia de ácido a luteoxantina y luego auroxantina. Sin embargo, en los resultados se observa que no hubo variación significativa para este compuesto.

4.3.2. EFECTO DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA HARINA DE LÚCUMA

En el Cuadro 17 se aprecia el contenido de humedad promedio de las muestras de harina correspondientes a los tratamientos de atomización y se puede observar que sí existe diferencia significativa entre dichas muestras y que esta característica se ve influenciada por la temperatura, el encapsulante y la interacción de ambos factores.

Cuadro 17: Contenido de humedad promedio de las muestras de harina correspondientes a los tratamientos de atomización

T (°C)	% MD	Promedio*
175	4.5	2.49 ±0.19 ^b
175	6	1.06 ±0.04 ^d
147.5	4.5	2.44 ±0.20 ^b
175	3	0.79 ±0.03 ^d
120	3	2.42 ±0.08 ^b
120	6	3.28 ±0.18 ^a
147.5	3	1.83 ±0.25 ^c
120	4.5	2.57 ±0.11 ^b
147.5	6	2.74 ±0.04 ^b

*Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Los valores de humedad varían en un rango de 0.79-3.28 por ciento, correspondiendo el valor más alto al tratamiento de 120 °C y 6 por ciento de maltodextrina y el valor mínimo al tratamiento de 175 °C y 3 por ciento de encapsulante. Esto se puede explicar con lo

mencionado por Esquivel y Rutiaga (2015), quienes manifiestan que la temperatura de aire de entrada es directamente proporcional a la velocidad de secado de las microcápsulas y al contenido de agua final. Una temperatura baja de aire de entrada provoca una baja velocidad de evaporación, una deformación de las microcápsulas con alta densidad, alto contenido de agua, poca fluidez y serán susceptibles a aglomerarse. Por otro lado, Jittanit *et al.* (2011) señalan que, a temperaturas más altas de entrada existe un gradiente de temperatura mayor entre la alimentación y el aire de secado, lo que resulta en una mayor fuerza motriz para la evaporación del agua, produciendo polvos con menor contenido de humedad. Otros autores también observan la misma tendencia, por ejemplo, en microencapsulado de carotenoides de flores de mastuerzo (Juscamaita *et al.* 2017); en harina de tomate, harina de jugo de naranja, harina de zanahoria y harina de pera (Kha *et al.* 2010).

La variabilidad significativa entre las muestras se puede explicar a que posiblemente exista variabilidad entre las unidades de lúcuma que se destinaron a la preparación de la pasta para cada tratamiento, ya que conforme transcurría el tiempo las lúcumas maduraban en tiempos distintos (siendo no siempre uniforme en todo el fruto), también fueron seleccionadas en función a la firmeza al tacto, siendo este criterio subjetivo y creándose una posible fuente de error.

Respecto a la adición de maltodextrina, Warangkana y Anantawat (2015) mencionan que la adición de maltodextrina en una proporción más alta resultó en harina de Gac (*Momordica cochinchinensis* (Lour) Spreng) con menor contenido de humedad, la misma tendencia fue observada por Abadio *et al.* (2004) y Grabowski *et al.* (2006) en harina de jugo de piña y en harina de papa, respectivamente. Estos hallazgos podrían explicarse por el hecho de que la adición de maltodextrina dió como resultado un aumento en el sólido de alimentación y una reducción en la humedad total para la evaporación. En la presente investigación, no se observó esta tendencia pues como se observa en el Cuadro 17 se obtienen valores mínimos de humedad con el contenido más alto y bajo de maltodextrina, a su vez el contenido de humedad más alto se obtuvo con el porcentaje más alto de encapsulante.

En el Cuadro 18 (Anexo 39) se presenta la caracterización de azúcares y azúcar alcohol, para los tratamientos de atomización, observándose que el azúcar-alcohol: mio-inositol no se ve afectado por los tratamientos.

Cuadro 18: Azúcares y azúcar alcohol* presentes en las muestras de harina correspondientes a los tratamientos de atomización

Tratamiento	Contenido* (g / 100 g bs)			
	Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Myo-inositol
175 °C / 4.5 %	21.08 ± 4.51 ^{ab}	21.08 ± 4.51 ^a	N.D.	0.12 ± 0.01 ^a
175 °C / 6.0 %	21.15 ± 1.17 ^{ab}	21.15 ± 1.17 ^a	N.D.	0.11 ^a
147.5 °C / 4.5 %	19.15 ± 2.0 ^{ab}	16.53 ± 1.28 ^{abc}	N.D.	0.11 ^a
175 °C / 3.0 %	22.77 ± 6.51 ^a	18.79 ± 3.15 ^{ab}	N.D.	0.12 ^a
120 °C / 3.0 %	22.65 ± 1.92 ^a	17.36 ± 1.27 ^{abc}	N.D.	0.12 ^a
120 °C / 6.0 %	16.15 ± 1.49 ^{ab}	13.52 ± 1.24 ^{bc}	N.D.	0.10 ^a
147.5 °C / 3.0 %	14.58 ± 0.97 ^{ab}	12.43 ± 0.89 ^c	5.08 ± 0.42 ^a	0.08 ± 0.07 ^a
120 °C / 4.5 %	14.12 ± 1.32 ^b	14.63 ± 1.35 ^{bc}	N.D.	0.12 ± 0.01 ^a
147.5 °C / 6.0 %	13.48 ± 1.79 ^b	12.87 ± 1.71 ^{bc}	N.D.	0.12 ^a

* Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Los diferentes tratamientos de atomización sí afectaron significativamente los contenidos de los azúcares. La glucosa y la fructosa se vieron influenciadas significativamente por la temperatura y la interacción de la temperatura y el encapsulante, de tal forma que a temperatura más alta (175 °C) se obtuvo un mayor contenido de estos azúcares. Respecto a la sacarosa, esta se vió afectada por la temperatura, el encapsulante y la interacción de ambos factores, asimismo, se puede observar que desaparece en su totalidad para la mayoría de los tratamientos, excepto para la muestra sometida a 147.5 °C y 3 por ciento de encapsulante, además con este tratamiento se obtuvo muy bajo contenido de glucosa y el mínimo de myo-inositol y de fructosa. Respecto a la drástica disminución de sacarosa, esta podría haberse desdoblado en sus dos monosacáridos reductores debido a las temperaturas y tiempo de proceso, dichos monosacáridos podrían reaccionar con proteínas o aminoácidos o entre ellos produciéndose compuestos melanoidinos.

En el Cuadro 19 (Anexo 39), se observa la influencia de los parámetros de atomización en el contenido de ácidos orgánicos. Se observa que la atomización no afectó significativamente el contenido de ácido quínico. Respecto al ácido málico, sí se vio influenciado por la temperatura y la interacción de ambos factores, notándose que en el tratamiento a 175 °C y tres por ciento de encapsulante se obtiene un mayor contenido.

Cuadro 19: Ácidos orgánicos* presentes en las muestras de harina correspondientes a los tratamientos de atomización

Tratamiento	Contenido* (g / 100 g bs)	
	Ácido málico	Ácido quínico
175 °C / 4.5 %	0.17 ± 0.03 ^{bcd}	0.04 ^a
175 °C / 6.0 %	0.24 ± 0.01 ^{ab}	0.04 ^a
147.5 °C / 4.5 %	0.17 ^{bcd}	0.04 ^a
175 °C / 3.0 %	0.27 ± 0.02 ^a	0.04 ^a
120 °C / 3.0 %	0.19 ± 0.01 ^{abc}	0.04 ^a
120 °C / 6.0 %	0.14 ± 0.01 ^{cd}	0.04 ^a
147.5 °C / 3.0 %	0.09 ± 0.09 ^d	0.03 ± 0.03 ^a
120 °C / 4.5 %	0.15 ± 0.01 ^{bcd}	0.04 ^a
147.5 °C / 6.0 %	0.11 ^{cd}	0.04 ^a

* Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

En el Cuadro 20 se observa la influencia de la atomización en los compuestos aromáticos. Esta influencia se expresa en el diferencial de porcentaje de retención (ya sea como pérdida ó incremento) respecto a la muestra fresca la cual es considerada con 100 por ciento de retención para todos los compuestos. Dado a que los siete compuestos identificados en su conjunto constituyen un aroma característico de la lúcuma fresca, el objetivo es que la harina conserve ese aroma, por lo tanto, se requiere que la diferencial de retención sea mínima.

Se puede apreciar la disminución de la mayoría de los compuestos al ser sometidos a secado, (Anexo 68), así como también que la diferencial de retención para los compuestos: ácido acético, ácido butanoico, 3 metil 1 butanol y 3(E) ácido hexenoico no se vió afectada por ninguno de los tratamientos. Respecto a la disminución de compuestos, Avellone *et al.* (2018) informó que en el proceso de secado por aspersión del vino se producen grandes pérdidas en los compuestos volátiles que alcanzan hasta el 100 por ciento. Esta reducción es natural ya que una pequeña cantidad de sólidos se retienen en la cámara de secado por pulverización (Forero *et al.* 2015). Por otro lado, Esquivel y Rutiaga (2015) mencionan que una temperatura alta de aire de entrada provoca una evaporación excesiva y resulta en un rompimiento de la membrana, induciendo una subsecuente liberación prematura, así como una degradación del ingrediente encapsulado y una pérdida de volátiles. Esto se corrobora con los compuestos 2.3 butanodiona, (E)-2 Hexenal y 3 (E)hexenoico, ya que existe mayor

Cuadro 20: Efecto de la temperatura de entrada de aire y concentración de encapsulante en la retención (%) de compuestos aromáticos en las muestras de harina

Tratamiento	Diferencial de retención* (%)						
	2,3-butanodiona	(E)-2-hexenal	Ácido acético	Ácido butanoico	3-methyl-1-butanol	Ácido hexanoico	3(E)-ácido hexenoico
175 °C / 4.5 %	-59.73±1.72 ^{abc}	-74.76±2.3 ^a	-38.81±16.72 ^a	-57.58±10.93 ^a	-7.54±3.32 ^a	+38.17±6.26 ^c	-65.67±2.72 ^a
175 °C / 6.0 %	-64.03±1.38 ^{ab}	-70.55±4.34 ^{ab}	-46.16±22.91 ^a	-56.57±15.34 ^a	-19.05±12.79 ^a	+62.7±29.7 ^{abc}	-62.11±14.6 ^a
147.5 °C / 4.5 %	-57.96±0.59 ^{abc}	-74.7±1.75 ^a	-42.79±3.49 ^a	-47.92±2.84 ^a	-15.20±8.04 ^a	+55.29±21.3 ^{bc}	-52.33±3.43 ^a
175 °C / 3.0 %	-64.6±2.09 ^{ab}	-66.26±5.57 ^{ab}	-61.93±13.23 ^a	-60.63±12.58 ^a	-24.78±17.67 ^a	+68.33±41.93 ^{abc}	-65.55±5.49 ^a
120 °C / 3.0 %	-57.98±2.97 ^{abc}	-46.16±8.52 ^c	-55.61±15.49 ^a	-52.21±21.92 ^a	-31.41±7.12 ^a	+129.75±50.75 ^{ab}	-36.67±26.17 ^a
120 °C / 6.0 %	-53.86±1.16 ^{bc}	-61.01±0.19 ^b	-38.67±21.62 ^a	-48.75±20.61 ^a	-15.61±7.48 ^a	+51.63±20.91 ^{bc}	-58.83±19.54 ^a
147.5 °C / 3.0 %	-64.68±1.33 ^a	-65.74±6.31 ^{ab}	-39.93±5.96 ^a	-53.79±12.28 ^a	-7.59±1.62 ^a	+54.5±33.5 ^{bc}	-46.03±9.69 ^a
120 °C / 4.5 %	-51.50±1.38 ^{cd}	-75.42±1.05 ^a	-30.03±19.32 ^a	-44.07±14.41 ^a	-20.41±3.27 ^a	+146.43±31.72 ^a	-40.4±13.22 ^a
147.5 °C / 6.0 %	-41.55±10.2 ^d	-65.31±2.62 ^{ab}	-27.51±19.23 ^a	-32.21±11.25 ^a	-7.39±3.69 ^a	+69.33±22.05 ^{abc}	-30.13±16.79 ^a

* Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Signo positivo indica incremento, signo negativo indica disminución.

diferencial al ser sometidos a 175 °C. Asimismo, a nivel de encapsulante, se observó mayor pérdida del 2.3 butanodiona con 3 por ciento y respecto al (E)-2 hexenal, con 4.5 por ciento.

La interacción de los factores también influyó significativamente en el 2.3 butanodiona, (E)-2 hexenal y ácido hexanoico. Se aprecia que la degradación del (E)-2-hexenal es menor al someter la muestra a 120 °C y 3 por ciento de encapsulante. Asimismo, González *et al.* (2015) observó la disminución de este compuesto en guanábana deshidratada, y menciona que aún así continuó siendo responsable del aroma agradable y fresco en este producto. Así también, Orrego *et al.* (2015) observó una reducción de este aldehído después del secado de aspersión de lulo, probablemente porque este es susceptible a oxidación.

Por lo contrario, Osorio *et al.* (2011) observó que aumentó en su concentración después de la microencapsulación de guayaba. Por otro lado, Orrego *et al.* (2015) encontró que los ácidos acético y butanoico, se perdieron completamente durante el secado por aspersión de lulo. En los resultados reportados en este estudio también se observó una pérdida para ambos compuestos, pero ésta es parcial. Asimismo, se observa que no existen diferencias significativas entre las pérdidas de ambos compuestos para todos los tratamientos.

Cadwallader (2018) afirma que degradación de lípidos por procesos hidrolíticos y oxidativos permiten la formación de numerosos compuestos aromáticos en alimentos. La rancidez hidrolítica es causada por la hidrólisis (lipólisis) de grasas y aceites (triglicéridos) los cuales permiten la liberación de aromas de perfil picante, rancio o ácidos grasos de cadena corta con olor desagradable a sudor tal como el ácido butírico.

En general la oxidación de ácidos grasos y aceites, especialmente lípidos poliinsaturados es de mayor importancia que la lipólisis desde que este es una fuente de volátiles como aldehídos y cetonas con bajo umbral de detección (Pegg y Shahidi 2007). Sin embargo, en este estudio, los aldehídos y el ácido butírico se vieron reducidos al ser sometidos a secado.

Respecto al contenido de maltodextrina, Gonzalez *et al.* (2015) mencionan que este compuesto es importante para la retención del aroma en guanábana deshidratada. En este estudio no se observó una tendencia marcada en función al contenido de maltodextrina y la retención de aromáticos.

D. Análisis de la superficie respuesta de solubilidad

En el Cuadro 21 se presenta el Análisis de Varianza del modelo cuadrático para la solubilidad.

Cuadro 21: Análisis de Varianza (ANVA) del modelo cuadrático para la solubilidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	10,4653	1	10,4653	40,01	0,0000*
B: Encapsulante	2,79898	1	2,79898	10,70	0,0029*
AA	20,4097	1	20,4097	78,04	0,0000*
AB	0,120801	1	0,120801	0,46	0,5025
BB	10,7015	1	10,7015	40,92	0,0000*
Falta de ajuste	1,61667	3	0,538888	2,06	0,1290
Error puro	7,0615	27	0,261537		
Total (corr.)	45,9792	35			
R ² = 81.1 %	R ² ajustado = 78 %				

* Significancia a un nivel de $\alpha=0.05$

Al evaluar el coeficiente de determinación (R^2) se pudo establecer que el 81.1 por ciento de variabilidad de los resultados es explicado por el modelo cuadrático. Además, existe un alto grado de correlación entre los valores experimentales y estimados, debido a que el R^2 fue 0.811 y el R^2 ajustado de 0.78. La temperatura de entrada de aire y la concentración de encapsulante en sus formas lineal y cuadrática, fueron significativas para la solubilidad. La ecuación de regresión cuadrática que describe el efecto de las variables independientes en la solubilidad es la siguiente:

$$SA = 83,7592 - 0,606278*A + 4,53045*B + 0,00211207*A^2 - 0,514037*B^2$$

En la Figura 18 se aprecia el efecto de la temperatura ($^{\circ}C$) y el encapsulante (por ciento) añadido sobre la solubilidad de las muestras de harina, mediante superficie respuesta. La solubilidad de los productos en polvo se puede ver afectada por muchos parámetros, tales como la composición inicial de la materia prima, los agentes de soporte, la temperatura de entrada de aire, entre otros (Kha *et al.* 2010).

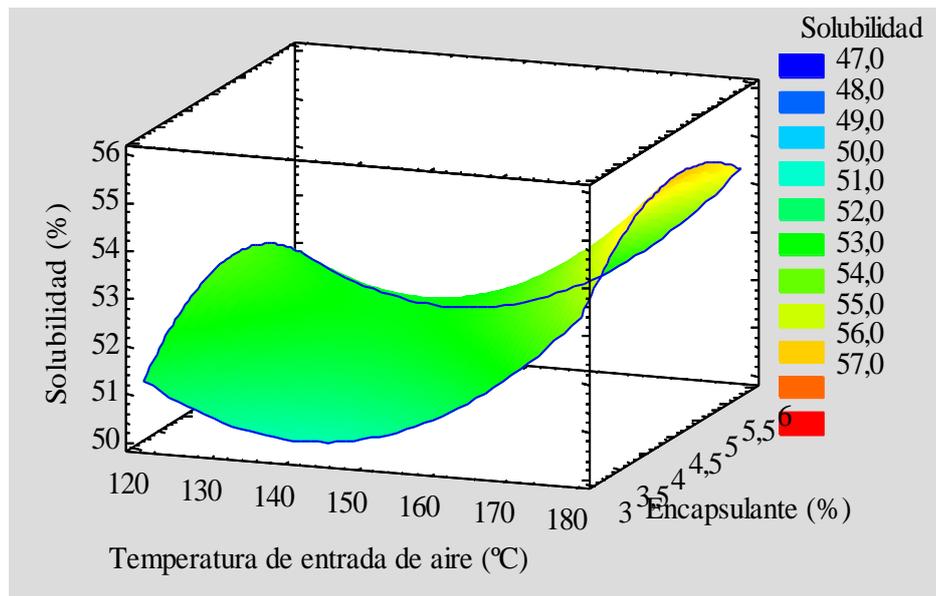


Figura 17:Superficie de respuesta de la solubilidad (%) de las muestras de harina en función de los factores: Concentración de encapsulante (%) y Temperatura de entrada (°C)

El valor óptimo (54.3 por ciento) se obtuvo con la temperatura de entrada de aire más alta (175 °C) y 4.8 por ciento de maltodextrina, así pues, conforme aumenta la temperatura la solubilidad se ve incrementada, esta tendencia también es observada por Juscamaita *et al.* (2017), Camacho *et al.* (2012), Muzaffar y Kumar (2015), Santhalakshmy *et al.*(2015) en flor de mastuerzo, pomelo, tamarindo y jamun, respectivamente.

Jittanit *et al.* (2011) afirma que la temperatura de secado tiene un efecto positivo sobre la solubilidad ya que altas temperaturas de secado dan como resultado una mayor porosidad de las muestras de harina y la mayor porosidad conduce a la superficie más específica del microencapsulado, dando como resultado mayor superficie de contacto entre el polvo y el agua. Por otro lado, Muzaffar y Kumar (2015) afirman que este comportamiento es debido al efecto de la temperatura de entrada sobre el contenido de humedad residual. De tal forma que cuanto menor sea el contenido de humedad de la muestra el polvo es más soluble. Esto se puede corroborar en el presente estudio, ya que coincidentemente a la temperatura de 175 °C

se obtuvo el mínimo valor de humedad en las muestras de harina, así como también el máximo valor de solubilidad.

En relación con la concentración óptima de maltodextrina añadida, en el presente estudio es de 4.77 por ciento valores muy cercanos al máximo (6 por ciento). Cano-Chauca *et al.* (2004) señalan que los portadores de secado como la maltodextrina y goma arábiga se disuelven fácilmente en agua, por ello mejoran la capacidad de disolución de la muestra; por ende, la solubilidad del atomizado está influenciada principalmente por el tipo y la concentración de los portadores de secado. Por otro lado, la literatura reporta trabajos que demuestran que la solubilidad de un polvo instantáneo está directamente relacionada con su microestructura. Las formas cristalinas y amorfas de las superficies de los polvos presentan diferencias en los tamaños y forma de las partículas, las propiedades químicas, su estabilidad química, la solubilidad en agua y la higroscopicidad (Cano-Chauca *et al.* 2005). A mayor grado de superficies amorfas, se incrementa la solubilidad de los polvos en agua y a mayor presencia del estado cristalino, se disminuye su solubilidad ya que le confiere una mayor organización de las partículas (Gombas *et al.* 2003). Los sólidos amorfos tienen una mayor solubilidad y velocidad de disolución, que la del estado cristalino (Yu 2001). Por lo tanto, las muestras de harina obtenidas a 175 °C podrían contener más superficies amorfas que cristalinas respecto a las obtenidas a temperaturas más bajas.

E. Análisis de la superficie respuesta de la higroscopicidad

En el Cuadro 22 se presenta el Análisis de Varianza del modelo cuadrático para la higroscopicidad.

Al evaluar el coeficiente de determinación (R^2) se pudo establecer que el 89.8 por ciento de variabilidad de los resultados es explicado por el modelo cuadrático. Además, existe un alto grado de correlación entre los valores experimentales y estimados, debido a que el R^2 fue 0.898 y el R^2 ajustado de 0.881. La temperatura de entrada de aire en sus formas lineal y cuadrática, la concentración de encapsulante en su forma lineal y la interacción de ambos factores, fueron significativas para la higroscopicidad.

Cuadro 22: Análisis de Varianza (ANVA) del modelo cuadrático para la higroscopicidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	61,4793	1	61,4793	216,81	0,0000*
B: Encapsulante	17,3048	1	17,3048	61,03	0,0000*
AA	3,48216	1	3,48216	12,28	0,0016*
AB	13,4493	1	13,4493	47,43	0,0000*
BB	0,00000938889	1	0,00000938889	0,00	0,9955
Falta de ajuste	3,31486	3	1,10495	3,90	0,0196*
Error puro	7,65611	27	0,28356		
Total (corr.)	107,118	35			
R ² = 89.8 %	R ² ajustado = 88.1 %				

* Significancia a un nivel de $\alpha=0.05$

La ecuación de regresión cuadrática que describe el efecto de las variables independientes en la higroscopicidad es la siguiente:

$$HG = 47,2084 - 0,305644*A - 4,43487*B + 0,000872397*A^2 + 0,0256646*A*B - 0,000481481*B^2$$

En la Figura 19 se aprecia el efecto de la temperatura y el encapsulante (por ciento) añadido sobre la higroscopicidad de las muestras de harina, mediante superficie respuesta.

Se observa que el valor óptimo de higroscopicidad es de 14.9 por ciento y se obtuvo al emplear la temperatura de entrada de aire de 120 °C y la concentración de maltodextrina de 6 por ciento. Coincidiendo con Muzaffar y Kumar (2015), quienes encontraron que la disminución de la temperatura del aire de entrada, en la atomización de tamarindo, a su vez disminuyó la higroscopicidad de las muestras de polvo.

El mismo comportamiento muestran Juscamaita *et al.* (2017) en flor de mastuerzo. Esto demuestra que cuanto mayor es el contenido de humedad de las muestras de polvo, es menor su tendencia a absorber la humedad debido a que la capacidad de adsorber la humedad ambiental está relacionada con el gradiente de concentración de agua entre el producto y el aire circundante (Tonon *et al.* 2008).

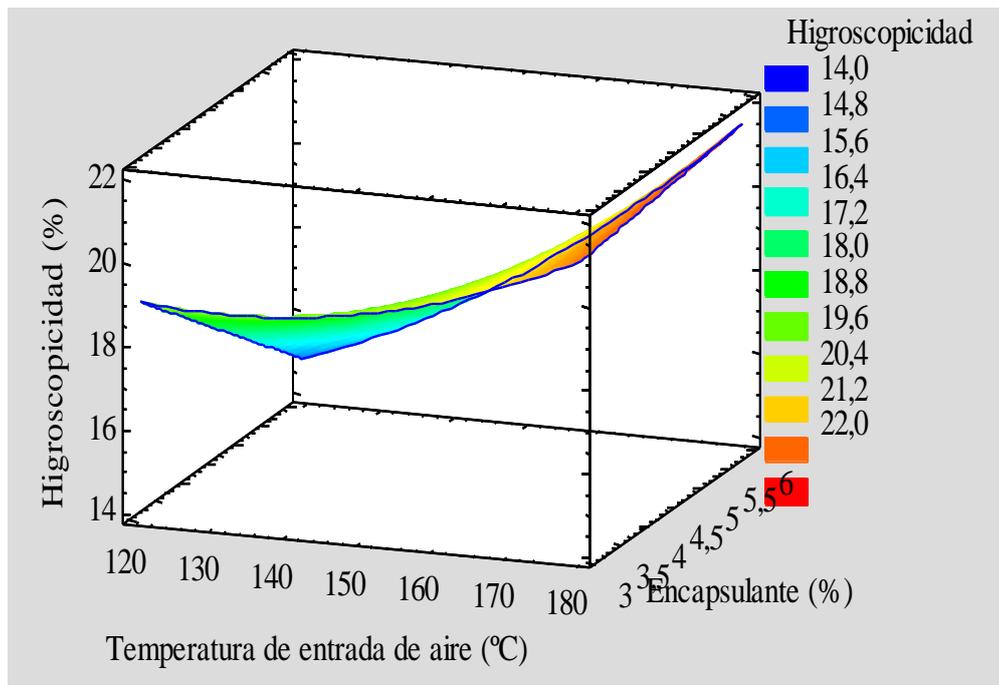


Figura 18: Superficie de respuesta de la higroscopicidad (%) de las muestras de harina en función de los factores: Concentración de encapsulante (%) y Temperatura de entrada (°C)

Respecto al nivel de maltodextrina, se reportó que lo óptimo fue el nivel más alto (6 por ciento), esto se puede explicar debido a que la maltodextrina es un material que posee la propiedad de bajar la higroscopicidad y por su utilidad como material de soporte para el secado por aspersion (Tonon *et al.* 2008). Esto se corrobora con lo hallado por Mishra *et al.* (2013), quien menciona que el nivel de maltodextrina tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en la higroscopicidad de la harina de amla y además se obtuvo el valor mínimo de este parámetro cuando se incrementó la concentración de maltodextrina. Rodriguez- Hernandez *et al.* (2005) y Cai y Corke (2000) observaron el mismo comportamiento en los atomizados de jugo de pera y betacianina, respectivamente. Asimismo, Caparino *et al.* (2012) mencionan que la maltodextrina permite obtener harina de baja higroscopicidad. Respecto a los valores de higroscopicidad en general, estos fueron más altos que los reportados por otros autores para otro tipo de harina a base de jugo de frutas, esto puede ser debido al alto porcentaje de fructosa que contiene la muestra, pues es conocido que este tipo de azúcar confiere alta higroscopicidad al producto (Bhandari *et al.* 1997).

F. Análisis de la superficie respuesta del rendimiento

En el Cuadro 23 se presenta el Análisis de Varianza del modelo cuadrático para el rendimiento.

Cuadro 23: Análisis de Varianza (ANVA) del modelo cuadrático para el rendimiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	73,205	1	73,205	172,99	0,0000*
B: Encapsulante	36,125	1	36,125	85,37	0,0000*
AA	2,32201	1	2,32201	5,49	0,0268*
AB	13,6107	1	13,6107	32,16	0,0000*
BB	0,456012	1	0,456012	1,08	0,3084
Falta de ajuste	1,06611	3	0,355371	0,84	0,4840
Error puro	11,4256	27	0,423171		
Total (corr.)	139,329	35			
R ² = 91 %	R ² ajustado = 89.5 %				

* Significancia a un nivel de $\alpha=0.05$

Al evaluar el coeficiente de determinación (R^2) se pudo establecer que el 91 por ciento de variabilidad de los resultados es explicado por el modelo cuadrático. Además, existe un alto grado de correlación entre los valores experimentales y estimados, debido a que el R^2 fue 0.91 y el R^2 ajustado de 0.895. La temperatura de entrada de aire en sus formas lineal y cuadrática, la concentración de encapsulante en su forma lineal y la interacción de ambos factores, fueron significativas para el rendimiento. La ecuación de regresión cuadrática que describe el efecto de las variables independientes en el rendimiento es la siguiente:

$$R = -5,57673 + 0,399672*A + 3,81874*B - 0,000712397*A^2 - 0,0258182*A*B - 0,106111*B^2$$

En la Figura 20 se observa el efecto de los factores: Concentración de encapsulante (por ciento) y Temperatura de entrada ($^{\circ}C$) sobre el rendimiento (por ciento) de las muestras de harina, mediante superficie respuesta. Se puede apreciar que el valor óptimo de rendimiento es de 39.5 por ciento para la muestra de harina obtenida mediante la combinación de Temperatura de entrada de aire de $175^{\circ}C$ y 3 por ciento

de encapsulante, siendo dichos valores la temperatura más alta y la concentración de maltodextrina más baja. Respecto a la temperatura de entrada Fazaeli *et al.* (2012) también mencionan que este parámetro mostró un efecto positivo en el rendimiento del proceso, que puede atribuirse a la mayor eficiencia de los procesos de transferencia de masa y calor y por ende a la menor probabilidad de que las partículas secas inadecuadamente choquen con la pared de la cámara. Similares resultados fueron mostrados por Tonon *et al.* (2008), y Goula y Adamopoulos (2005a). Sin embargo, Papadakis *et al.* (2006) mostraron que al aumentar la temperatura del aire de entrada el rendimiento del proceso de jugo de pasas disminuyó y lo atribuye a problemas de pegajosidad debido a que la temperatura de secado está por encima de su temperatura de transición vítrea.

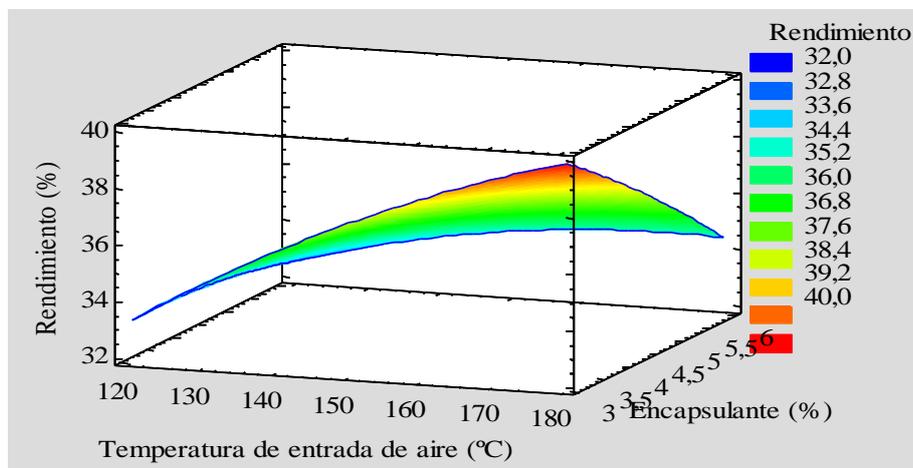


Figura 19: Superficie de respuesta del rendimiento (%) de las muestras de harina en función de los factores: Concentración de encapsulante (%) y Temperatura de entrada (°C)

En cuanto a la concentración mínima de maltodextrina para maximizar el rendimiento. Se observa que estos resultados concuerdan con Luján *et al.* (2013) y Tonon *et al.* (2008) quienes mencionan que los rendimientos de pomelo y jugo de açai atomizado, respectivamente aumentaron cuando se adicionaron encapsulantes en bajas concentraciones. Tonon *et al.* (2008) atribuyen esta relación inversa a una mayor viscosidad del alimento de tal forma que el proceso de secado se vuelva más lento, dando como resultado la formación de polvo húmedo adherido a la cámara de secado. Sin embargo, Fazaeli *et al.* (2012) mencionan que el aumento de la concentración de agente portador en el jugo de morera negra aumentó

G. Análisis de la superficie respuesta de la densidad aparente

En el Cuadro 24 se presenta el Análisis de Varianza del modelo cuadrático para la densidad aparente.

Cuadro 24: Análisis de Varianza (ANVA) del modelo cuadrático para la densidad aparente

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	0,0167445	1	0,0167445	98,14	0,0000*
B: Encapsulante	0,001058	1	0,001058	6,20	0,0192*
AA	0,0019845	1	0,0019845	11,63	0,0021*
AB	0,000352083	1	0,000352083	2,06	0,1624
BB	0,00464006	1	0,00464006	27,19	0,0000*
Falta de ajuste	0,000673389	3	0,000224463	1,32	0,2898
Error puro	0,00460692	27	0,000170627		
Total (corr.)	0,0286116	35			
R ² = 81.5 %	R ² ajustado = 78.5 %				

* Significancia a un nivel de $\alpha=0.05$

Al evaluar el coeficiente de determinación (R^2) se pudo establecer que el 81.5 por ciento de variabilidad de los resultados es explicado por el modelo cuadrático. Además, existe un alto grado de correlación entre los valores experimentales y estimados, debido a que el R^2 fue 0.815 y el R^2 ajustado de 0.785. La temperatura de entrada de aire y la concentración de encapsulante en sus formas lineal y cuadrática, fueron significativas para la densidad aparente. La ecuación de regresión cuadrática que describe el efecto de las variables independientes en la densidad aparente es la siguiente:

$$DA = 0,328604 + 0,00562562*A - 0,0820758*B - 0,0000208264*A^2 + 0,0107037*B^2$$

En la Figura 21 se observa el efecto de los factores: Concentración de encapsulante (por ciento) y Temperatura de entrada ($^{\circ}C$) sobre la la densidad aparente (g/mL) de las muestras de harina, mediante superficie respuesta. Cuanto menor es la densidad aparente, más aire ocluido existe dentro de la harina y, por lo tanto, una mayor posibilidad de oxidación del producto y menor estabilidad en el almacenamiento.

Una menor densidad aparente también implica mayor volumen de embalaje (Lewis 1987). Por lo tanto, el objetivo fue encontrar los niveles de los factores que permitan maximizar esta variable.

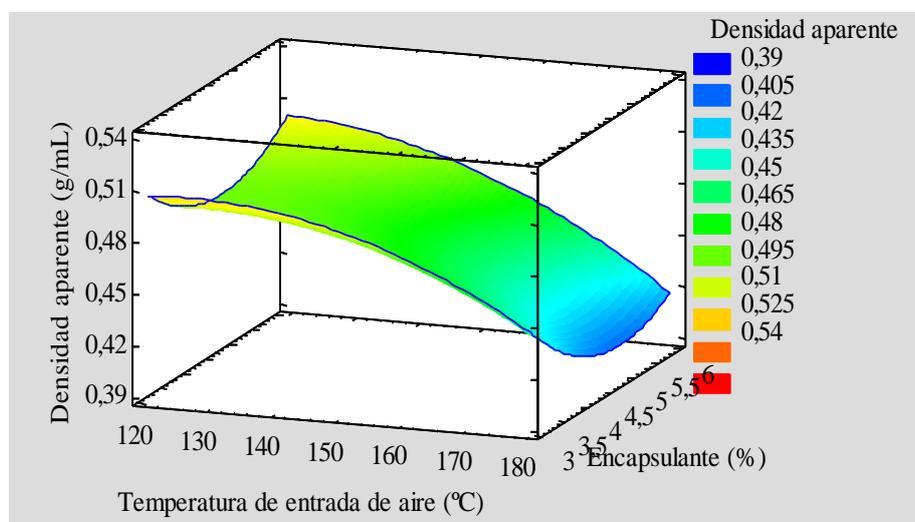


Figura 20: Superficie de respuesta de la densidad aparente (g/mL) de las muestras de harina en función de los factores: Concentración de encapsulante (%) y Temperatura de entrada (°C)

Se puede apreciar que el valor óptimo para esta variable respuesta es de 0.5 g/mL, valor obtenido mediante la combinación de dos factores: Temperatura de entrada de aire de 125.5 °C y 3 por ciento de encapsulante. Siendo ambos factores influyentes de forma significativa para esta característica. Se observa cierta tendencia ya que al aumentar la temperatura de aire se aprecia una evidente disminución de la densidad. Esta misma tendencia fue reportada por Mahdi *et al.* (2017), Walton y Mumford (1999), Cai y Corke (2000), Goula *et al.* (2004) y Kha *et al.* (2010). Mishra *et al.* (2013) atribuyen este comportamiento a que mientras más alta sea la temperatura se acelera la velocidad de evaporación, creando un efecto más poroso y producto fragmentado generando así un mayor volumen. Asimismo, según lo explicado por Jumah *et al.* (2000), Walton (2000), Chegini y Ghobadian (2005), la alta tasa de secado es muy rápida a temperaturas muy altas, lo que significa que hay menos contracción de las gotas, resultando en una menor densidad de polvo.

Respecto al agente encapsulante, se observa que a menor concentración de encapsulante mayor es la densidad aparente. Este comportamiento no coincide con

el encontrado por Nadeem *et al.* (2011) en té. Según lo explicado por Caparino *et al.* (2012) la maltodextrina es un material de formación de cubierta y al ser utilizado induce a la acumulación y atrapamiento del aire dentro de la partícula haciendo que se vuelva menos densa y porosa.

H. Análisis de la superficie respuesta del ángulo Hue

En el Cuadro 25 se presenta el Análisis de Varianza del modelo cuadrático para el ángulo Hue.

Cuadro 25: Análisis de Varianza (ANVA) del modelo cuadrático para el ángulo Hue

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	22,6689	1	22,6689	94,10	0,0000*
B: Encapsulante	15,7361	1	15,7361	65,32	0,0000*
AA	16,8007	1	16,8007	69,74	0,0000*
AB	0,9747	1	0,9747	4,05	0,0544
BB	7,54014	1	7,54014	31,30	0,0000*
Falta de ajuste	1,61392	3	0,537972	2,23	0,1073
Error puro	6,5046	27	0,240911		
Total (corr.)	83.323	35			
R ² = 90.3 %	R ² ajustado = 88.6 %				

* Significancia a un nivel de $\alpha=0.05$

Al evaluar el coeficiente de determinación (R^2) se pudo establecer que el 90.3 por ciento de variabilidad de los resultados es explicado por el modelo cuadrático. Además, existe un alto grado de correlación entre los valores experimentales y estimados, debido a que el R^2 fue 0.903 y el R^2 ajustado de 0.886. La temperatura de entrada de aire y la concentración de encapsulante en sus formas lineal y cuadrática, fueron significativas para el ángulo Hue. La ecuación de regresión cuadrática que describe el efecto de las variables independientes en el ángulo Hue es la siguiente:

$$\text{Hue} = 129,787 - 0,555578*A - 5,52576*B + 0,00191625*A^2 + 0,431481*B^2$$

En la Figura 22 se observa el efecto de los factores: Concentración de encapsulante (por ciento) y Temperatura de entrada ($^{\circ}\text{C}$) sobre el ángulo Hue de las muestras de

harina, mediante superficie respuesta. Los resultados de color también son importantes indicadores de calidad de la intensidad del tratamiento térmico, que podría, por tanto, influir en su utilización como ingrediente alimentario (Pathare *et al.* 2012).

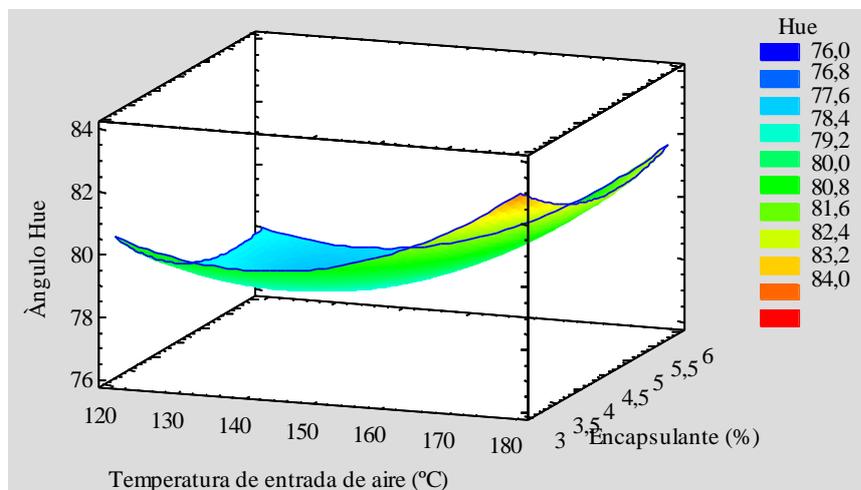


Figura 21:Superficie de respuesta del ángulo Hue de las muestras de harina en función de los factores: Concentración de encapsulante (%) y Temperatura de entrada (°C)

Se puede apreciar que el valor óptimo del ángulo Hue es de 82.2 valor que se aproxima a la tonalidad amarilla (90 °) y que se obtuvo mediante la combinación de Temperatura de entrada de aire de 175 °C y 3 por ciento de encapsulante, siendo dichos valores la temperatura más alta y la concentración de maltodextrina más baja. Mientras que a temperaturas más bajas se observa menor valor de Hue alejándose del tono amarillo y acercándose al tono rojo. Sin embargo, Vega-Galvez *et al.* (2009) observaron que este parámetro se vió afectado por la temperatura de manera opuesta en pimienta roja.

4.3.3. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ATOMIZACIÓN

Para la optimización se empleó la función deseabilidad o también llamado optimización múltiple. Todas las variables respuesta tuvieron coeficientes de determinación por encima del 70 por ciento. Por otra parte, la falta de ajuste fue no significativa, lo que indica que el modelo matemático se ajusta bien con los datos experimentales. La mayoría de las variables respuesta fueron maximizadas, excepto la higroscopicidad y compuestos aromáticos que no

fueron consideradas para la optimización múltiple debido a que los modelos no se ajustaban a los datos. La función deseabilidad dio un valor de 0.72. La superficie de respuesta se muestra en la Figura 23.

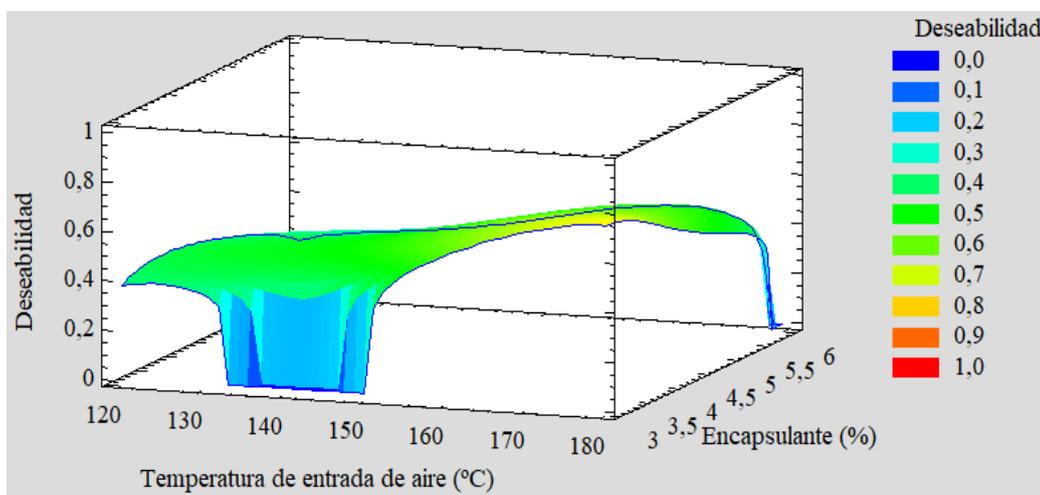


Figura 22:Superficie de respuesta de la función deseabilidad de las muestras de harina, considerando la maximización de los compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante, carotenoides totales, solubilidad, densidad aparente, rendimiento y ángulo Hue

La temperatura óptima de entrada de aire es de 175 °C, siendo el límite superior del rango estudiado (120–175 °C) y la concentración óptima de maltodextrina es de 3 por ciento, siendo el límite inferior del rango (3-6 por ciento). Por lo tanto, se puede decir que el tratamiento de atomización más adecuado para obtener harina con mejores características físico-químicas y bioactivas es la combinación de 175 °C y 3 por ciento MD.

Por otro lado, respecto a los compuestos aromáticos, en el cuadro 18 se puede apreciar que el tratamiento que presenta mayor retención de compuestos aromáticos respecto al control es la combinación de temperatura de entrada de aire de 147 °C y 6 por ciento de encapsulante. Este tratamiento a su vez no presenta diferencia significativa con el mejor tratamiento obtenido mediante la optimización. Por lo tanto, se considera a este último, como el tratamiento de atomización más adecuado para secar lúcuma, obteniendo no sólo mejores características físico-químicas y bioactivas, sino también buena retención de sus compuestos aromáticos.

4.4. COMPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE SECADO EN CABINA Y POR ATOMIZACIÓN

En el Cuadro 26 (Anexo 76) se presenta la comparación de las muestras de harina obtenidas mediante los tratamientos más adecuados (en los que se obtuvo una mayor conservación de sus características físico-químicas, bioactivas y aromáticas) de secado en cabina (50 °C) y atomización (175 °C / 3 por ciento MD y 147 °C / 6 por ciento MD). Para esto se consideraron las siguientes variables respuesta: compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, carotenoides totales, solubilidad, densidad aparente, ángulo Hue, las cuales se buscaron maximizar, con la excepción de dos: la higroscopicidad y la diferencial de retención de compuestos aromáticos, los cuales se buscaron minimizar.

Cuadro 26: Cuadro comparativo de los compuestos bioactivos, físico-químicos y aromáticos de la harina de lúcuma obtenida mediante los métodos más adecuados de secado en cabina y por atomización

Características	Secado en cabina	Atomización	
	50 °C	175 °C/3 %MD	147 °C/6 %MD
Compuestos fenólicos (AGE mg/g bs)	0.81 ± 0.03 ^c	1.30 ± 0.04 ^a	1.1 ± 0.02 ^b
Capacidad antioxidante (TE μmol/g bs)	13.87 ± 0.79 ^c	29.05 ± 1.06 ^a	24.02 ± 3.03 ^b
Carotenoides totales (β-caroteno mg/g bs)	0.23 ± 0.02 ^a	0.14 ± 0.01 ^b	0.15 ± 0.01 ^b
Solubilidad (%)	47.15 ± 2.46 ^b	52.55 ± 0.91 ^a	50.62 ± 0.18 ^{ab}
Higroscopicidad (%)	12.23 ± 2.72 ^b	20.86 ± 0.13 ^a	17.18 ± 0.13 ^a
Densidad aparente (g/mL)	0.63 ± 0.08 ^a	0.47 ± 0.01 ^b	0.49 ± 0.01 ^b
Angulo Hue (°H)	79.93 ± 1.47 ^b	82.45 ± 0.02 ^a	78.36 ± 0.16 ^b
2.3 butanodiona (% retención)	38.3 ± 10.45 ^b	64.6 ± 2.1 ^a	41.55 ± 10.2 ^b
(E)-2 hexenal (% retención)	55.79 ± 7.3 ^a	66.26 ± 5.57 ^a	65.31 ± 2.62 ^a
Ácido acético (% retención)	22.51 ± 7.6 ^a	61.93 ± 13.23 ^a	27.51 ± 19.23 ^a
Ácido butanoico (% retención)	37.5 ± 28.12 ^a	60.63 ± 12.58 ^a	32.21 ± 11.25 ^a
3-metil-1 butanol (% retención)	27.95 ± 21.46 ^a	24.78 ± 17.68 ^a	7.39 ± 3.69 ^a
Ácido hexanoico (% retención)	43.52 ± 24.5 ^a	68.33 ± 41.93 ^a	69.33 ± 22.05 ^a
3(E)-Ácido hexenoico (% retención)	46.3 ± 6.14 ^{ab}	65.55 ± 5.49 ^a	30.13 ± 16.79 ^b

Se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tres tratamientos al evaluar la mayoría de los compuestos aromáticos, excepto para el compuesto: 2.3 butanodiona, observándose alta variación con el tratamiento 175 °C y 3 por ciento de Maltodextrina. Por

otro lado, respecto a los compuestos bioactivos, el tratamiento con el que se obtiene mayor contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante es con 175 °C y 3 por ciento de Maltodextrina, mientras que se obtiene más contenido de carotenoides totales con el tratamiento en bandejas.

En cuanto a la caracterización física de la harina se obtiene menor higroscopicidad y mayor densidad aparente con el tratamiento en bandejas, pero mejor color y solubilidad con el tratamiento a 175 °C de temperatura de entrada de aire y 3 por ciento de encapsulante.

Por lo tanto, el método de secado con el que se obtiene harina con mejores características es la atomización, aplicando el tratamiento: 175 °C de temperatura de entrada de aire y 3 por ciento de encapsulante. Seguidamente del método se secado en bandejas a 50 °C.

V. CONCLUSIONES

1. Las temperaturas de secado en cabina no influyeron significativamente en las características físico-químicas de la harina como la solubilidad, densidad aparente e higroscopicidad.
2. El contenido de compuestos fenólicos se vió influenciado por la temperatura de secado en cabina, mientras que la capacidad antioxidante se vió influenciada por el largo tiempo de exposición.
3. El tratamiento de secado en cabina a 50 °C fue el que dió mejores características, destacando una buena retención de compuestos aromáticos.
4. El tratamiento de secado por atomización con el que se obtuvo mejor retención de compuestos aromáticos respecto al control fue a 147 °C de temperatura de entrada de aire y 6 por ciento de encapsulante.
5. El método de secado con el que se obtuvo mejores características de harina en su conjunto como: compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, carotenoides totales, buena retención de compuestos aromáticos, solubilidad, densidad aparente, higroscopicidad, solubilidad y color, fue la atomización a 175 °C de temperatura de entrada de aire y 3 por ciento de maltodextrina.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar una evaluación sensorial con consumidores, de la harina empleada como ingrediente en algún sistema alimenticio.
2. Considerar en los estudios otros análisis como la actividad de agua y evaluar el contenido de carotenoides frente a este parámetro.
3. Realizar la determinación de la capacidad antioxidante por métodos *in vivo* para conocer su comportamiento a nivel biológico.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadio, F.; Domingues, A.; Borges, S.; Oliveira, V. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice—effect of malt dextrin concentration and atomization speed, *J. Food Eng.* 64. 285–287.
- Abeles, M.; Morgan, W.; Salveit, E. 1991. Ethylene En *Plant Biology*. Academic Press, Londres, RU. 414 pp.
- Achir, N.; Randrianatoandro, V.; Bohuon, P.; Laffargue, A.; Avallone, S.; 2010. Kinetic study of beta-carotene and lutein degradation in oils during heat treatment. *European Journal of Lipid Science and Technology* 112, 349–361.
- Achir, N.; Hadjal, T.; Madani, K.; Dornier, M.; Dhuique-Mayer, C. 2015. Carotene Reactivity in Pink Grapefruit Juice Elucidated from Model Systems and Multiresponse Modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(15), 3970-3979
- Aguilar, J. 2012. Métodos de conservación de alimentos. 1 ed. Tlalnepantla, México, Eugenia Buendía López. 192 p.
- Akanbi, C.; Oludemi, O. 2004. “Effect of processing and packaging on the lycopene content of tomato products”, *Int. J. Food Prop.*, 7(1):139.
- Akpinar, E. 2006. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering* 73, 75–84.
- Alia-Tejacal, I.; Villanueva-Arce, R.; Pelayo-Zaldívar, C.; Colinas-León, M.; López-Martínez, V.; Bautista-Baños, S. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit. *Postharvest Biology and Technology* 45: 285-297.

- Andre, C.; Oufir, M.; Guignard, C.; Hoffmann, L.; Hausman, J.; Evers, D.; Larondelle, Y. 2007. Antioxidant profiling of native Andean potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) reveals cultivars with high levels of β -carotene, α -tocopherol, chlorogenic acid, and petanin. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 55: 10839-10849.
- Anese, M.; Falcone, P.; Fogliano, V.; Nicoli, M.; Massini, R. 2002. "Effect of equivalent thermal treatments on the color and the antioxidant activity of tomato purees", *J. Food Sci.*, 67(9):3442
- Angkananon, W. 2015. Effects of Spray Drying Conditions on Characteristics, Nutritional Value and Antioxidant Activity of Gac Fruit Aril Powder. School of Agricultural Technology, Walailak University. Review of Integrative Business and Economics. Vol 4. Thailand.
- Anguelova, T.; Warthesen, J. 2000. "Lycopene stability in tomato powders". *J. Food Sci.*, 65 (1):67
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists, USA). 1990. Official methods of analysis. 15 ed. Washington D.C., USA.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists, USA). 2007. Official methods of analysis. 15 ed. Washington D.C., USA.
- Aparicio, R.; Minguéz-Mosquera A.; Gandul-Rojas, B. 2011. Thermal degradation kinetics of lutein, β -carotene and β -cryptoxanthin in virgin olive oils. *Journal of Food Composition and Analysis* 24. 811–820. España.
- Aral, S.; Vildan, B. 2016. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. Department of Chemical Engineering, Atatürk University, 25240 Erzurum, Turkey.
- Arctander, S. 1969. Perfume and flavor chemicals (aroma chemicals). Montclair, NJ: Steffen Arctander

- Arena, E.; Fallico, B.; Maccarone, E. 2001. Evaluation of antioxidant capacity of blood orange juices as influenced by constituents, concentration process and storage. *Food Chem.*, 74, 423-427
- Arnao, M.; Cano, A.; Acosta, M. 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry* 73: 239-244.
- Arrazola, G.; Herazo; Alvis, A. 2014. Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante, doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000300006> *Inf. Technol. (en línea)*, 25, 31-42.
- Auldridge, E.; McCarty, R.; Klee, J. 2006. Plant carotenoid cleavage oxygenases and their apocarotenoid products. *Curr. Opin. Plant Biol.* pp.315–321.
- Aurore, G.; Ginies, C.; Ganou-Parfait, B.; Renard, C.; Fahrasmane, L. 2011. Comparative study of free and glycoconjugated volatile compounds of three banana cultivars from French West Indies: Cavendish, Frayssinette and Plantain. *Food Chem*, 129, 28–34.
- Avellone, G.; Salvo, A.; Costa, R.; Saija, E.; Bongiorno, D.; Di Stefano V.; Calabrese, G.; Dugo, G. 2018. Investigation on the influence of spray-drying technology on the quality of Sicilian Nero d'Avola wines. *Food Chemistry*, 240, 222-230.
- Azevedo-Meleiro, C.; Rodriguez-Amaya, D. 2005a. Carotenoids of endive and New Zealand spinach as affected by maturity, season and minimal processing. *Journal of Food Composition and Analysis* 18, 845–855.
- Babalís, S.; Belessiotis, V. 2004. *Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs*”, *Journal of Food Engineering*, 65, 449-458
- Badui, S. 2013. *Química de los alimentos*. 5 ed. Naucalpan de Juárez, Mexico, Pearson. 783 p.

- Bayuelo, J.; Alcantar, N.; Ochoa, I. 2007. Sapote mamey [*Pouteria sapota* (Jacquin) H.E. Moore & Stearn]: A potential fruit crop for subtropical regions of Michoacan Mexico. Departamento de Horticultura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Mexico.
- Benavides y P. Cuasqui, L. 2008. Estudio del comportamiento poscosecha de la uvilla (*Physalis peruviana* L.) sin capuchón. Ibarra-Ecuador.
- Berger, G. 2007. Flavours and Fragrances-Chemistry, Bioprocessing and Sustainability: Springer-Verlag: Berlin, Germany.
- Bhandari, B.; Bansal, N.; Zhang, M.; Schuck, P. 2013. Handbook of food powders. Woodhead 6 Publishing Limited.
- Bhandari, B.; Datta, N.; Howes, T. 1997. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*. 15(2):671-84.
- Bolin, H.; Stafford, A.; King, A.; Huxsoll, C. 1977. Factors affecting the storage stability of shredded lettuce. *Journal of Food Science*, 42(5): 1319-1321
- Bone, R.; Landrum, J.; Fernandez, L.; Tarsist, S. 1988. Analysis of the macular pigment by HPLC: retinal distribution and age study. *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 29, 843-849
- Boudhrioua N.; Michon, C.; Cuvelier, G.; Bonazzi, C . 2002. Influence of ripeness and air temperatura on changes in banana texture during drying . *J Food Eng* 55 : 115 – 21 .
- Bravo, L. 1998. Polyphenol: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutrition Reviews* 56(11): 317-333.
- Brecht, J. 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 30(1): 18- 22.
- Brecht, J. 1999. Postharvest quality and safety in fresh-cut vegetables and fruits. Coop. Reg. Res. Proj. S-294.

- Brown, S.; Buchanan, R.; Hicks, R. 1966. Volatiles from apple fruits as related to variety, maturity, and ripeness. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 88: 98-104.
- Bruin S. 2000. Flavor retention in dehydration processes. In Singh RP , Wirakartakusumah E (eds.), *Advances in Food Engineering* . Boca Raton, FL : CRC Press , pp. 15 – 32.
- Buttara, M.; Intatapichet, K.; Cadwallader, K. 2014. Characterization of potent odorants in Thai chempedak fruit (*Artocarpus integer* Merr.), an exotic fruit of Southeast Asia. *Food Research International.*, 66(0): 388–395.
- Buttery, R. 1993. Quantitative and sensory aspects of flavor of tomato and other vegetable and fruits. In *Flavor Science: Sensible Principles and Techniques*; Acree, T.E., Teranishi, R., Eds.; ACS: Washington, DC, USA; pp. 259–286.
- Cadwallader, K. 2018. Aromas. Universidad de Illinois. Estados Unidos.
- Cai, Y.; Corke, H. 2000. Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65(7), 1248-1252.
- Camacho, L.; Egas, F.; González, M. 2012. Optimización del proceso de atomización de pomelo. Influencia de la temperatura y de la adición de diferentes solutos de alto peso molecular. Grupo de investigación e innovación alimentaria (cuina). Departamento de tecnología de alimentos. Universitat politècnica de valència. Camino de vera s/n, Valencia.
- Cano, M.; Stringheta, P.; Ramos, A.; Cal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder spray drying and its functional characterization. *Innova_tive Food Science and Emerging Technologies* 6 (4): 420–428.
- Cano-Chauca, M.; Stringheta, L.; Sardagna, L.; Cal-Vidal, J. 2004. Mango juice dehydration spray drying using different carriers and functional characterization. Proceedings of the 14th International Drying Symposium, São Paulo, Brazil.

- Cano-Chauca, M.; Stringheta, P.; Ramos, A.; Cal-Vidal, J. 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 (4), 420-428
- Caparino, O.; Tang, J.; Nindo, C.; Sablani, J. 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering* 111: 135-148.
- Castenmiller, J.; West, C. 1998. Bioavailability and Bioconversion of Carotenoids. *Annual Review of Nutrition*, 18(1), 19-38.
- Catignani, G.; Schwartz, S. 1998. Oxidative degradation kinetics of lycopene, lutein, and 9-cis and all-trans beta-carotene. *Journal of the American Oil Chemists Society* 75, 823-829.
- Chaikham, P.; Kemsawasd, V.; Seesuriyachan, P. 2017. Spray drying probiotics along with maoluang juice plus Tiliacora triandra gum for exposure to the in vitro gastrointestinal environments. *LWT - Food Sci Technol. (en línea)*, 78, 31-40
- Chan, S. 1987. *Autoxidation of Unsaturated Lipids*; Academic Press: London, UK.
- Chegini, G.; Ghobadian, B. 2005. Effect of spray drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technol.* 23 (3), 657-658
- Chelius, D.; Jing, K.; Lueras, A.; Rehder, D.; Dillon, T.; Vize, A. ; Bondarenko, P. 2006. Formation of pyroglutamic acid from Nterminal glutamic acid in immunoglobulin gamma antibodies. *Analytical Chemistry*, 78(7), 2370e2376
- Chism, W.; Haard, N. 1996. Characteristics of edible plant tissues. In O. R. Fennema (Ed.), *Food chemistry* (pp. 943-1011). New York: Marcel Dekker Inc.
- Choi, J.; Lee, S.; Lee, H.; Kim, Y. 2018. Characterization of aroma-active compounds in Chinese quince (*Pseudocarya sinensis* Schneid) by aroma dilution analyses. *Food*

- Colle, I.; Bemmens, L.; Knockaert, G.; Loey, A.; Hendrickx, M. 2015. Carotene degradation and isomerization during thermal processing: a review on the kinetic aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(ja), 00–00.
- Cortês-Rojas, D.; Souza, C.; Oliveira, W. 2015. Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract. *Chemical Engineering Research and Design*, 93, 366–376.
- Corzo, O.; Bracho, N.; Alvarez, C. 2008. Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during drying. *Journal of Food Engineering*, 87, 479–484.
- Crouzet, J.; Chassagne, D.; Sakho, M. 1995. Contribution of glycosidically bound volatile compounds to processed food aroma. In *Contribution of Low and Non-volatile Materials to the Flavor of Foods Symposium*. Chicago: American Chemical Society.
- Cuervo, P. 2011. Quality oriented drying of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG). Universidad de Kassel, Witzenhausen, Alemania.
- Cui, Z.; Xu, S.; Sun, D. 2004. Effect of microwave drying on the carotenoids retention of carrot slices and chlorophyll retention of Chinese chive leaves. *Drying Technology*, 22, (12): 563-575
- Cunningham, G.; Acree, E.; Barnard, J.; Butts, R.; Braell, P. 1986. Charm analysis of apple volatiles. *Food Chem.* 19: 137-147.
- Dadzie, B.; Orchard, J. 1997. Evaluación rutinaria postcosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos / B. K. Dadzie, J. E. Orchard. Guías Técnicas Inibap. Francia.
- Defilippi, B.; Manríquez, D.; Luengwilai, K.; Gonzalez-Agüero, M. 2009. Aroma volatiles:

- biosynthesis and mechanisms of modulation during fruit ripening. *Advances in Botanical Research*, 50, 1e37.
- DellaPenna, D. 2005. A decade of progress in understanding vitamin E synthesis in plants. *Journal of Plant Physiology*.
- Devahastin, S.; Niamnuy, C. 2010. Modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1755–1767.
- Díaz, M. 2006. Análisis de los compuestos responsables del aroma de las especies. Facultad de CC. Químicas. Área de Tecnología de los Alimentos. Real Sociedad Española de Química.
- Dini, I. 2009. Flavonoid glycosides from *Pouteria obovata* (R. Br.) fruit flour. *Food Chemistry* 124: 884-888.
- Djendoubi, N.; Boudhriouad, N.; Kechaouc, N.; Courtois, F.; Bonazzi, C. 2012. Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and bioproducts processing* 9 0 433–441. Francia.
- Egea, M., Pereira-Netto, A.; Cacho, J.; Ferreira, V.; López, R. 2014. Comparative analysis of aroma compounds and sensorial features of strawberry and lemon guavas (*Psidium cattleianum* Sabine). *Food Chemistry*. 164(1): 272–277.
- Erazo, S.; Escobar, A.; Olaeta, J.; Undurraga, P. 1999. Determinación proximal y carotenoides totales de frutos de seis selecciones de lúcuma (*Pouteria lúcuma*). *Alimentos* 24(1): 67-75.
- Eskin, M.; Grossmann, S.; Pinsky, A. 1977. The biochemistry of lipoxygenase in relation to food quality. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*
- Eskin, N.; Hoehn, E. 2013. Biochemistry of foods. Department of Human Nutritional Sciences, Faculty of Human Ecology, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba,

Canada.

Esquivel, B.; Rutiaga, O. 2015. Microencapsulación Mediante Secado Por Aspersión De Compuestos Bioactivos. *Rev. Iber. Tecnología postcosecha* vol 16(2):180-192

Fang, Z.; Bhandari, B. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. School of Agriculture and Food Sciences. The University of Queensland, Brisbane, Australia.

Favaro-Trindade, S.; Santana, S.; Monterrey-Quintero, S.; Trindade, A.; Netto, M. 2010. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids*, 24, 336–340.

Fazaeli, M.; Emam-Djomeh, Z.; Kalbasi, A.; Omid, M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 90(4), 667-675.

Fellman, K.; Mattison, S.; Fan, X.; Mattheis, P. 1997. ‘Fuji’ apple storage characteristics in relation to growing conditions and harvest maturity in Washington State. En Mitcham EJ (Ed.) *Apples and Pears. Proceedings of 7th International CA Conference*. Vol. 2. p. 234.

Fennema, O.; Tannenbaum, S. 2010. Introducción a la química de los alimentos. 3era edición. Editorial Acirbia. University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin.

Ferrari, C.; Germer, S.; Aguirre, J. 2012. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. *Drying Technol* 30:154–163

Fisher, C.; Scott, T. 1997. Food flavours biology and chemistry (pp. 27–28). Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry.

Flink, J.; Karel, M. 1970. Retention of organic volatiles in freeze - dried solutions of carbohydrates . *J Agric Food Chem* 18 (2): 295 – 7.

Forero, D.; Orrego, C.; Peterson, D.; Osorio, C. 2015. Chemical and sensory comparison of

- fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma. *Food Chemistry*, 169, 85-91.
- Forsyth, R.; Webster, H. 1971. Volatiles from McIntosh apple fruits as affected by phosphorus and potassium nutrition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96: 259-263.
- Fратиanni, A.; Cinquanta, L.; Panfili, G. 2010. Degradation of carotenoids in orange juice during microwave heating. *LWT - Food Science and Technology*, 43, (4): 867–871.
- Fuentealba, C.; Gálvez, L.; Cobos, A.; Olaeta, J.; Defilippi, B.; Chirinos, R.; Campos, D.; Pedreschi, R. 2016. Characterization of main primary and secondary metabolites and invitro antioxidant and antihyperglycemic properties in the mesocarp of three biotypes of *Pouteria lucuma*. *Food Chemistry* 190: 403-411
- García, D. 2016. Caracterización de algunos metabolitos primarios y secundarios en dos variedades comerciales de lúcuma (*Pouteria lucuma*). Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. UNALM. Lima – Perú.76 p
- George, S.; Cenkowski, S. 2009. The influence of drying on levels of bioactive compounds in pulp/peel oil of sea buckthorn (*hippophae rhamnoides* l. Ssp. *Sinensis*). *Journal of food processing and preservation. Department of Biosystems Engineering University of Manitoba Winnipeg, Manitoba. Canada.*
- Gharsallaoui, A.; Roudaut, G.; Chambin, O.; Voilley, A.; Saurell, R. 2007. Application of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food Research International* 40(9): 1107-1121.
- Glorio, P.; Repo-Carrasco, R.; Velezmoro, C. 2008. Fibra dietaria en variedades peruanas de frutas, tubérculos, cereales y leguminosas. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 74 (1): 46– 56.
- Goff, S.; Klee, H. 2006. Plant volatile compounds: Sensory cues for health and nutritional value. *Science* pp 815–819.
- Goldstein, L.; Wick, L. 1969. Lipids in ripening banana fruit. *J. Food Sci.* 34, 482e484.

- Gombas, A.; Antal, I.; Szabo-Revesz, P.; Marton, S.; Eros, I. 2003. Quantitative determination of crystallinity of Alpha- lactose monohydrate by near infrared spectroscopy (NIRS). *International Journal of Pharmaceutics*, 256 25-32.
- González, A.; Espinoza, A.; Cañizares, A.; Méndez, J. 2008. Production of sweet pepper (*Capsicum chinense*) powder using air-forced dehydration. *Revista Científica UDO Agrícola* 8 (1): 118-126.
- González-Cebrino, F.; García-Parra, J.; Ramírez Bernabé, R. 2015. Aroma profile of a red plum purée processed by high hydrostatic pressure and analysed by SPME–GC/MS. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. España.
- Gorena, T.; Robert, P.; Romero, N.; Sepulveda, E.; Chavez, J.; Saenz, C. 2010. Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1386–1394.
- Gorny, J.; Gil, I.; Kader, A. 1998a. Postharvest physiology and quality maintenance of fresh-cut pears. *Acta Horticulturae*, (464): 231-236
- Goula, A.; Adamopoulos, K. 2010. Kinetic Models of β -Carotene Degradation During Air Drying of Carrots. *Drying Technology*, 28, (9): 752–761.
- Goula, A.; Adamopoulos, K. 2005a. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: 1. The effect on product recovery. *J. Food Eng.* 66, 25–34.
- Goula, A.; Adamopoulos, K. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: the effect on powder properties. *Journal of Food Engineering* 66: 35-42.
- Goula, A.; Adamopoulos, K. 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Drying kinetics and product recovery, *Dry. Technol.* 26. 714–725.
- Goula, K.; Adamopoulos, N.; Kazakis, N. 2004. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties, *Dry. Technol.* 1129–1151.

- Grabowski, J.; Truong, V.; Daubert, C. 2006. Spray-drying of amylase hydrolyzed sweet potato puree and physicochemical properties of powder. *J. Food Sci.*, 71(5): 209-217.
- Guadagni, G.; Bomben, L.; Hudson, S. 1971. Factors influencing the development of aroma in apple peel. *J. Sci. Food Agric.* 22, 110–115.
- Gutiérrez, M.; Droguet, M. 2002. La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor. *Boletín Intexter (u.p.c.)* n° 122.
- Handelman, G.; Dratz, E.; Reay, C.; Van Kujik, F. 1988. Carotenoids in the human macula and whole retina. *Investigations in Ophthalmology and Visual Science* 29, 850–855.
- Hansen, K.; Poll, L.; Olsen, E.; Lewis, J. 1992. The influence of oxygen concentration in storage atmospheres on the post-storage volatile ester production of ‘Jonagold’ apples. *Lebensm. Wissen. Technol.* 25: 457-461.
- Hiranvarachat, B.; Devahastin, S.; Chiewchan. 2011. N. Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying food and bioproducts processing, 89, 116–127
- Hirvi, T. 1983. Mass fragmentographic and sensory analyses in the evaluation of the aroma of some strawberry varieties. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 16, 157±164.
- Hossain, M.; Barry-Ryan, C.; Martin-Diana, A.; Brunton, P. 2010. Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. *Food Chemistry*, 123, 85–91.
- Hurst, W. 1995. Sanitation of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 30(1): 22-24.
- Igel, M.; Giesa, U.; Lütjohann, D.; Von, B. 2003. Comparison of the intestinal uptake of cholesterol, plant sterols, and stanols in mice. *The Journal of Lipid Research* 44: 533-8.
- Inga, M. 2004. Optimización del deshidratado de 2 biotipos de lúcuma (*Pouteria lucuma* (RyP) Kuntze) usando la técnica de superficie de respuesta. Tesis para optar el grado de

Magister Scientiae en la Especialidad de Tecnología de Alimentos. UNALM. Lima, Perú.
132p

Janampa, C. 2017. Determinación de metabolitos primarios, actividades enzimáticas y características físico-químicas de la lúcuma (*Pouteria lucuma*) en dos estados fisiológicos. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. UNALM. Lima – Perú.

Jatunov, S.; Quesada, S.; Díaz, C.; Murillo, E. 2010. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 60(1), 99-104.

Jiménez, J. 2002. “Introducción al Cultivo de Uvilla”. El Eraldo, Ambato.

Jittanit, W., Chantara-In, M.; Deying, T.; Ratanavong, W. 2011. Production of tamarind poder by drum dryer using maltodextrin and Arabic gum as adjuncts. *Songklanakarin J Sci Technol.*; 33 (1): 33-41.

Jumah, R.; Tashtoush, B.; Shakher, R.; Zraiy, A. 2000. Manufacturing parameters and quality characteristics of spray dried jameed. *Drying Technol.* 18 (4-5), 967–984.

Juscamaita, F.; Pérez, T.; Espinoza, C.; Quispe, M.; Hinostroza, G.; Flores, R.; Manyari, G. 2017. Evaluation of stability of carotenoids and antioxidant activity of nasturtium flowers (*Tropaeolum majus* L.) in Spray-Drying Microencapsulation. *Rev. Soc. Quím. Perú* vol.83 no.3 Lima jul./set.

Kao, T.; Loh, C.; Inbaraj, S.; Chem, B. 2012. Determination of carotenoids in *Taraxacum formosanum* by HPLC–DAD–APCI-MS and preparation by column chromatography. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 66: 144- 153.

Keqing, X. 2004. Optimización del secado por aire caliente de pera (variedad BLANQUILLA). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, p. 33

- Kha, C.; Nguyen, H.; Roach, D. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *J. Food Eng.* 98, 385–392.
- Khalid, M.; Pradyuman, K. 2015. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technology* 279 179–184. India.
- Kim, D.; Smith, N.; Lee, C. 1993a. Apple cultivar variations in response to heat treatment and minimal processing. *Journal of Food Science*, 58(5): 1111-1114, 1124.
- Kim, D.; Smith, N.; Lee, C. 1993b. Quality of minimally processed apple slices from selected cultivars. *Journal of Food Science*, 58(5): 1115-1117, 1175
- Klaui, H. 1973. Carotinoide in Lebensmitteln. *Func. Prop. Fats Foods, Adv. Study Course*.
- Kurozawa, L.; Morassi, A.; Vanzo, A.; Park, K.; Hubinger, M. 2009. Influence of spray drying conditions on physicochemical properties of chicken meat powder, *Dry. Technol.* 27. 1248–1257.
- Lakshminarayana, R.; Raju, M.; Krishnakantha, T.; Baskaran, V. 2005. Determination of major carotenoids in a few Indian leafy vegetables by high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8): 2838–2842.
- Lange. 1999. *Fundamentals of colourimetry—application report No. 10e. Estados Unidos*.
- Lavado, M.; Yenque, J.; Robles, R. 2012. Estudio de rendimiento de harina de lúcuma a partir del fruto fresco. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial* 15(1): 127-130. UNMSM
- Lee, H.; Coates, G. 2003. Effect of thermal pasteurization on Valencia orange juice color and pigments. *Int. J. Food Sci. Tech.* 36(1), 153-156
- Leigh, T. 2014. *Sufood Juices & Smoothies: 100 delicious and mega-nutritious recipes from the world's most powerful superfoods*. China, Fair Winds Press.

- Leite, M.; Silva de Jesus, M.; Lennon Alves da Silva, J.; Caroline Santos Araujo, H.; Donizete Dutra Sandes, R.; Shanmugam, S. 2018. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp. Frin, Brasil.
- Lewis, M. 1987. Physical Properties of Foods and Food Processing Systems, Ellis Horwood Ltd., Chichester, UK.
- Luján-Olivares, G.; Agudelo, C.; Igual, M.; Martínez-Navarrete, N. 2013. Optimización de las Condiciones de Atomización de pulpa de pomelo. Trabajo Fin de Master. Universidad Politécnica de Valencia, 20.
- Ma, J.; Yang, H.; Basile, M.; Kennelly, E. 2004. Analysis of Polyphenolic Antioxidants from the Fruits of Three Pouteria Species by Selected Ion Monitoring Liquid Chromatography–Mass Spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 5873-5878.
- MacKinney, G.; Lukton, A.; Greenbaum, A. 1958. Carotenoid stability in stored dehydrated carrots. *Food Technol.* 12, 164e166.
- Mahdi, S.; Ghaleg, I.; Dehnad, D. 2017. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder, *Powder Technology. Iran*.
- Maldonado, A. 2012. Obtención de lúcumo en polvo por atomización. s.p.
- Marconi, O.; Floridi, S.; Montanari, L. 2007. Organic acids profile in tomato juice by HPLC with UV detection. *Journal of Food Quality*, 30(2), 253e266.
- Marques, L.; Ferreira, M.; Freire, J. 2007. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46: 451–457.
- Martin-Cabrejas, M.; Aguilera, Y.; Pedrosa, M.; Cuadrado, C.; Hernandez, T.; Diaz, S.; Esteban, R. 2009. The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. *Food Chem.* 114, 1063–1068.

- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177-182.
- Melgarejo, P.; Calín-Sánchez, A.; Hernández, F.; Szumny, A.; Martínez, J.; Legua, P.; Martínez, R.; Carbonel-Barrachina, A. 2012. Chemical, functional and quality properties of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) as affected by mulching. *Scientia Horticulturae*, 134, 114–120.
- Melgarejo, P.; Sanchez, A.; Vázquez-Araújo, L.; Hernandez, F.; Martinez, J.; Legua, P. 2011. Volatile composition of pomegranates from 9 Spanish cultivars using head space solid phase microextraction. *Journal of Food Science*, 76, S114eS120.
- Mène, L.; DellaPenna, D. 2010. Biosynthesis, regulation and functions of tocochromanols in plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 301-309. *Journal of Plant Physiology* 162: 729-737.
- Michalska, A.; Wojdyło, A.; Krzysztof, L.; Grzegorz, L.; Figiel, A. 2016. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying Technologies. *Food Chemistry*.
- Michalska, A.; Wojdyło, A.; Lech, K.; Grzegorz, P.; Figiel, A. 2017. Effect of different drying techniques on physical properties, total polyphenols and antioxidant capacity of blackcurrant pomace powders. *LWT - Food Science and Technology*.
- Miller, A.; Sampson, A.; Candeias, B.; Bramley, C.; Rice-Evans, A. 1996. Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. Reino Unido. *FEBS Letters* 384 240-242.
- Miranda, M.; Maureira, H.; Rodriguez, K.; Vega-Gálvez, A. 2009. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91(2), 297–304.
- Mishra, P.; Mishra, S.; Mahanta, C. 2013. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 92(3), 252- 258

- Mohamed, M.; Zhang, F.; Wun, F.; Zhou, C.; Tao, J. 2013. Advances in Fruit Aroma Volatile Research. College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology, Yangzhou 225009, China.
- Montoya, J. 2013. Pirólisis rápida de biomasa. 1 era edición. Universidad Nacional de Colombia. Medellín-Colombia.
- Moo-Huchin, V.; Estrada-Mota, I.; Estrada-León, R.; Cuevas-Glory, L.; Ortiz-Vázquez, E.; Vargas y Vargas, M.; Betancur-Ancona, D.; Sauri-Duch, E. 2014. Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry* 152: 508-515.
- Morales, J.; Jimenez-Perez, S. 2001. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chem.* 72, 119–125
- Mujumdar, S. 2015. Handbook of industrial drying, 4a ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Muratore, G., Rizzo, V., Licciardello, F., & Maccorone, E. 2008. Partial dehydration of cherry tomato at different temperature and nutritional quality of the produce. *Food Chemistry*, 111, 887-891.
- Nadeem, M.; Torun, F. Ozdemir. 2011. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis strica*) water extract by using different hydrocolloid carriers, *LWT-Food Sci. Technol.* 44 1626-1635.
- Nicolas, J.; Richard-Forget, F.; Goupy, P.; Amiot, M.; Aubert, S. 1994. Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 34, 109–157.
- Nguyen, M.; Francis, D.; Schwartz, S. 2001. Thermal isomerisation susceptibility of carotenoids in different tomato varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 910-917
- Nsimba, R.; Kikuzaki, H.; Konishi, Y.; 2008. Antioxidant activity of various extracts fractions of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus* spp. seeds. *Food Chem.* 106, 760–766.

- Obenland, D.; Collin, S.; Sievert, J.; Negm, F.; Arpaia, L. 2012. Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in “Hass” avocado. *Postharvest Biol. Technol.* 71, 41–50.
- Oberoi, D.; Sogi, D. S. 2015. Effect of drying methods and maltodextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. *Journal of Food Engineering*, 165, 172-178.
- Ochoa, L.; González, S.; Morales, J.; Rocha, N.; Trancoso, N.; Urbina, M. 2011. Rehydration and functional properties of a powder product from pomegranate-apple juice. Instituto Tecnológico de Durango, Unidad de Posgrado, Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- Orrego, C.; Forero, D.; Peterson, D.; Osorio, C. 2015. Chemical and sensory comparison of fresh and dried lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit aroma. Colombia. *Food Chemistry* 169 85–91
- Osorio, C.; Forero, D.; Carriazo, J. 2011. Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spray-drying. *Food Research International* 44 1174–1181. Colombia.
- Paillard, M. 1981. Factors influencing flavor formation in fruits. En Schreier P (Ed.) *Flavour* 81. Gruyter. Berlín, Alemania. pp. 419- 507.
- Paillard, N. 1968. Analyse de l’arome de pommes de la varie’té’ Calville blanc par chromatographic sur colonne capillaire. *Fruits* 23, 283.
- Paillard, N. 1979. PremieÁres observations sur l’aroÃme des fraises congeleÂ es. *Revue GeÃneÁrale du Froid*, 7, 665±666.
- Pang, X.; Guo, X.; Qin, Z.; Yao, Y.; Hu, X.; Jihong, W. 2012. Identification of Aroma-Active Compounds in Jiashi Muskmelon Juice by GC-O-MS and OAV Calculation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60(17): 4179–4185

- Papadakis, E.; Gardeli, C.; Tzia, C. 2006. Spray Drying of juice concentrate. *Drying Technology*. 24:173-180.
- Pastene, E. 2009. Estado actual de la búsqueda de plantas con actividad antioxidante. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(6), 449-455.
- Pathare, P.; Opara, U.; Al-Said, F. 2012. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 36–60. foods: A review. *Food Bioprocess Technol.* 6, 36–60
- Pérez, A.; Fernández, J. 2012. Termodegradación de carotenoides en el pimentón. Departamento de Biotecnología de Alimentos. Instituto de la Grasa. Avda. Padre García Tejero, 4, 41012 Sevilla. *Grasas y Aceites Vol. 48. Fase. 5*, 290-296.
- Perez, G.; Rios, J.; Sanz, C.; Olias, M. 1992. Aroma components and free amino acids in strawberry variety Chandler during ripening. *J. Agric. Food Chem.* **pp** 40, 2232–2235.
- Phillips, K.; Ruggio, D.; Toivo, J.; Swank, M.; Simpkins, A. 2002. Free and esterified sterol composition of edible oils and fats. *Journal of Food Composition and Analysis* 15: 123-42.
- Piironen, V.; Lindsay, D.; Miettinen, T.; Toivo, J.; Lampi, A. 2000. Plant sterols: biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. *Journal of the Science Food and Agriculture* 80: 939-66.
- Primo, E. 2007. *Química orgánica básica y aplicada*. Tomo II. Editorial Reverté, S. A. Barcelona-España.
- Priyadarshani, A.; Jansz, E. 2014. A Critical review on carotenoid research in sri lankan context and its outcomes: critical reviews in food science and nutrition 54(5): 561–571.
- Qi, Z.; Xu, A. 1999. Starch-based ingredients for flavor encapsulation. *Cereal Foods World*. 44, 460–465.

- Qiao, Y.; Xie, J.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Fan, G.; Yao, L.; Pan, Y. 2008. Characterization of Aroma Active Compounds in Fruit Juice and Peel Oil of Jincheng Sweet Orange Fruit (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by GC-MS and GC-O. *Molecules*, 13(6): 1333-1344.
- Qu, W.; Pan, Z.; Ma, H. 2010. Extraction modeling and activities of antioxidants from pomegranate marc. *J. Food Eng.* 99, 16–23.
- Quek, S.; Chok, N.; Swedlund, N. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders, *Chem. Eng. Process.* 386–392.
- Quijano, C. 2011. Estudio de la composición de volátiles y su evolución durante la deshidratación osmótica de la guayaba Palmira Ica-1 (*Psidium guajava* L.). Efecto de la variación del pH en la composición de volátiles. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. España- Valencia.
- Qiu, J.; Jan-Eise, V.; Remko, M.; Boom, M.; Schutyser, A. 2018. Formation and degradation kinetics of organic acids during heating and drying of concentrated tomato juice. *LWT - Food Science and Technology*. Países Bajos.
- Ramakrishnan, T.; Francis, F. 1980. *J. Fd Qual.* 3,25. Kanner, J., Mendel, H. & Budowski, P. 1978 *J. Fd Sci.* 43,709 Arya, S., Natesan, V., Parihar, D.B. & Vijayaraghavan, P.K. 1979. *J. Fd Technol.* 14,571.
- Ramos- Ramírez, F.; Alia, T.; López, M.; Colinas, L.; Acosta, M. 2009. Almacenamiento de frutos de Zapote Mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore & Stearn) en Atmósfera Modificada. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Chapingo-Mexico.
- Ramshaw, E.; Hardy, P. 1969. Volatile compounds in dried grapes. *J Sci Food Agric* 20 : 619 – 21.
- Regier, M.; Mayer-Miebach, E.; Behsnilian, D.; Neff, E.; Schuchmann, H. 2005. Influences of drying and storage of lycopene-rich carrots on the carotenoid content. *Dry. Technol.* 23, 989– 998

- Reineccius, G. 2006. Flavor Chemistry and Technology. 2nd. Ed. CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- Requena, A.; Tomás, L. 2008. Tríadas. Nuevas lecturas en ciencia y tecnología. Netbiblo. España.
- Rizzolo, A.; Visai, C. 1990. Studies on the quality of ‘Golden Delicious’ apples coming from different localities of Trentino. XXIII Int. Horticultural Congress. Florencia, Italia.
- Rodrigo, D.; Jolie, R.; Van Loey, A.; Hendrickx, M. 2007. Thermal and high pressure stability of tomato lipoxygenase and hydroperoxide lyase. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 423–429.
- Rodríguez, K.; Ah-Hen, K.; Vega-Gálvez, A.; López, J.; Quispe-Fuentes, I.; Lemus-Mondaca, R.; Gálvez-Ranilla, L. 2014. Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during convective drying of murta (*Ugni molinae* T.) berries. *International Journal of Food Science and Technology* 2014, 49, 990–1000.
- Rodríguez-Amaya, D. 1999. Changes in carotenoids during processing and storage of foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 49, 38S–47S
- Rodríguez-Amaya, D.; Kimura, M.; Godoy, H.; Amaya-Farfan, J. 2008. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. *Journal of Food Composition and Analysis* 21 445– 463.
- Rodríguez-Hernández, G.; Gonzalez-García, R.; Grajales-Lagunes, A.; Ruiz- Cabrera, M.; Abud-Archila, M. 2005. Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology*, 23, 955-973.
- Rodríguez-Hernandez, G.; Gonzalez-Garcia, R.; Grazales-Lagunes, A.; Ruiz-Cabrera, M.; Abud-Archila, M. 2005. Spray drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of the powder and reconstituted product. *Drying Technol.* 23 (4), 955–973.

- Romig, W. 1995. Selection of cultivars for lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, 30(1): 38-40.
- Rulkens, W. 1973. Retention of volatile trace components in drying aqueous carbohydrate solutions. Dissertation, Technical University, Eindhoven, The Netherlands.
- Saikia, S.; Mahnot, N.; Mahanta, C. 2014. Effect of Spray Drying of Four Fruit Juices on Physicochemical, Phytochemical and Antioxidant Properties. *J. Food Process. Preserv.* (en línea), 39(6), 1-9.
- Saikia, S.; Mahnot; Mahanta, C. 2015. Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying, *Food Chem.* (en línea), 171, 144-152
- Saini, R.; Prashanth, K.; Shetty, N.; Giridhar, P. 2014. Elicitors, SA and MJ enhance carotenoids and tocopherol biosynthesis and expression of antioxidant related genes in *Moringa oleifera* Lam. leaves. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(10), 2695–2704.
- Saltveit, M. E. 1997. Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. En F. A. Tomas-Barberan y R. J. Robins (eds) *Phytochemistry of Fruits and Vegetables*, Calderon Press, 205-220.
- Sánchez -Palomo E.; Alonso-Villegas, M.; González, Viñas. 2015. Characterisation of free and glycosidically bound aroma compounds of La Mancha Verdejo white wines. *Food Chemistry* 173 1195–1202. España.
- Sanchez, D.; Zaldivar, P.; Cabrera, R.; Valadez, P.; Alejandre, A.; Fernandez, J.; Buendiac, E.; Flores, P. 2009. Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 54, 93–100.
- Sandoval B. 1997. Caracterización del crecimiento y comportamiento postcosecha de frutos de lucumo (*Pouteria lucuma* (R. et P. O. Kze)), Chile University, Thesis, Record number CL1999000075, AGRIS 2010 – FAO of the United Nations.

- Santhalakshmy, S.; Bosco, S.; Francis, S.; Sabeena, M. 2015. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology* 274 37–43. India.
- Sanz, C.; Olias, J.; Perez, A. 1997. Aroma biochemistry of fruits and vegetables. In *phytochemistry of fruit and vegetables*. Oxford University Press Inc.: New York, NY, USA. pp 125–155.
- Scher, F.; Rios, O.; Norea, C. 2009. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. *Int J Food Sci Technol* 44:2169–2175.
- Schreier, P. 1984. *Chromatographic Studies of Biogenesis of Plant Volatiles*; Alfred Hüthig Verlag GmbH: Heidelberg, Germany.
- Schwab, W.; Schreier, P. 2002. Enzymic formation of flavor volatiles from lipids. In *Lipid Biotechnology*; Kuo, T.M., Gardner, H.W., Eds.; Marcel Dekker: New York, NY, USA. pp. 293–318.
- Selli, S.; Kelebek, H.; Turan, M.; Tokbas, H. 2014. Characterization of the most aroma-active compounds in cherry tomato by application of the aroma extract dilution analysis. *Food Chemistry*. 165(0): 540–546.
- Selomulya, C.; Fang, Y. 2013. Food powder rehydration A2 - Bhandari, Bhesh. In N. Bansal, M. 434 Zhang, & P. Schuck (Eds.), *Handbook of Food Powders*. Woodhead Publishing. pp. 379–408.
- Shahidi, F.; Naczki, M. 1995. *Foods phenolics: sources, chemistry, effects, application, economic*. Lancaster, USA, Publishing Co.
- Shi, J. 2000. *Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing*. *Critical Reviews in Biotechnology*, 20(4), 293–334. doi:10.1080/07388550091144212.

- Shishir, M.; Chen, W. 2017. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 49-67.
- Sierra, I.; Gómez, S.; Pérez, D.; Morante, S. 2010. Análisis Instrumental. Editorial Netbiblo S, L. España. 227 p.
- Silva-Pinto, M.; Ranilla, L.; Apostolidis, E.; Lajolo, F.; Genovese, M.; Shetty, K. 2009. Evaluation of antihyperglycemia and antihypertension potential of native Peruvian fruits using in vitro models. *Journal of Medicinal Food* 12 (2): 278-291.
- Simal, S.; Femenia, A.; Garau, M.; Rosselló, C. 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, 66, (5): 323–328.
- Simkin, J.; Schwartz, H.; Auldridge, M.; Taylor, G.; Klee, J. 2004. The tomato carotenoid cleavage dioxygenase 1 genes contribute to the formation of the flavor volatiles beta-ionone, pseudoionone, and geranylacetone. *Plant J.* 40, 882–892.
- Sing, O. 1997. Colorantes naturales. 1 ed. Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú. 252 p.
- Sinuco-León, D.; Cuervo-Andrade, P. 2016. Effect of drying temperature on volatile compounds from guava products. Grupo Bioprospección de Compuestos Volátiles, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá -Colombia.
- Sisler, C.; Dupille, E.; Serek, M. 1996. Effect of 1-methylcyclopropane and methylenecyclopropane on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. *Plant Growth Regul.* 18: 79-86.
- Song, J.; Bangerth, F. 2003. Fatty acids as precursors for aroma volatile biosynthesis in pre-climacteric and climacteric apple fruit. *Postharvest Biol. Technol.*

- Steinhaus, M.; Sinuco, D.; Polster, J.; Osorio, C.; Schieberle, P. 2009. Characterization of the key aroma compounds in pink guava (*Psidium guajava* L.) by means of aroma re-engineering experiments and omission tests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 2882–2888.
- Syd Ali, N.; Cano-Lamadrid, M.; Noguera-Artiaga, L.; Lipan, L.; Carbonell-Barrachina, A.; Sendra, E. 2019. Flavors and Aromas. CHAPTER 18. Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables. España.
- Tietel, Z.; Lewinsohn, E.; Fallik, E.; Porat, R. 2012. Importance of storage temperatures in maintaining flavor and quality of mandarins. *Postharvest Biol. Technol.* 64, 175–182.
- Timoumi, S.; Milhoubi, D.; Zagrouba, F. 2007. Shrinkage, vitamin C degradation and aroma losses during infra-red drying of apple slices. *Swiss Society of Food Science and Technology tomato powder properties, Dry. Technol.* 1129–1151.
- 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.* 2008; 88 (3): 411-418
- Tonon, R.; Baroni, A.; Hubinger, M. 2007. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering.* 82: 509–517.
- Tsimidou, M. 1998. Polyphenols and quality of virgin olive oil in retrospect. *Italian Journal of Food Science* 2(10):99-116.
- Universidad Complutense de Madrid (UCM). 2013. Cromatografía de gases FID. Disponible en serial online: <https://www.ucm.es/tecnicasgeologicas/cromatografia-de-gases-fid>. Visitado el 29.04.2018.
- Updike, A.; Schwartz, S. 2003. Thermal processing of vegetables increases cis isomers of lutein and zeaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(21), 6184–6190.

- Vega, A.; Uribe, E.; Lemus, R.; Miranda, M. 2007. Hot-air drying characteristics of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) and influence of temperature on kinetic parameters. *LWT – Food Science and Technology*, 40,(9):1698–1707.
- Vega-Gálvez, A.; Lemus-Mondaca, R.; Bilbao-Sáinz, C.; Fito, P.; Andrés, A. 2008. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*, 85, 42–50.
- Vega-Gálvez, A.; Di Scala, K.; Rodríguez, K. 2009. Effects of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117, 647–653.
- Vidal, D.; Año, V.; Maupoey, P.; Tarraza, J. 1986. La actividad de agua en los alimentos. *Alimentos, equipos y tecnología*. Vol. 5:37.
- Villanueva, M. 2002. “Cultivo comercial de la lúcuma en Perú y el mercado internacional”. Lima, Perú, Schmidt. 71 p.
- Villari, P.; Costabile, P.; Fasanaro, G.; Sio, F.; Laratta, B.; Pirone, G. 1994. Quality loss of double concentrated tomato paste: Evolution of the microbial flora and main analytical parameters during storage at different temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 18(5), 369e387.
- Walton, D. 2000. The morphology of spray dried particles a qualitative view. *Drying Technol.* 18 (9), 1943–1986.
- Walton, D.; Mumford, C. 1999. Spray dried products – characterization of particle morphology. *Chem. Eng. Res. Des.* 77 (1), 21–38.
- Wang, Y.; Hossain, D.; Perry, P.; Adams, B.; Lin, J. 2012. Characterization of volatile and aroma-impact compounds in persimmon (*Diospyros kaki* L., var. Triumph) fruit by GC-MS and GC-O analyses. *Flavour and Fragrance Journal*. Mar, 27(2): 141-148
- Wang, Y.; Zhaoxin, L.; Fengxia, B. Xiaomei. 2009. Study on microencapsulation of curcumin

pigments by spray drying, *Eur Food Res Technol.* 229 391–396.

Warangkana, A.; Anantawat, T. 2015. Effects of Spray Drying Conditions on Characteristics, Nutritional Value and Antioxidant Activity of Gac Fruit Aril Powder. *Rev. Integr. Bus. Econ. Res.* Vol 4. Tailandia.

Watada, A.; Ko, N.; Minott, D. 1996. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biology and Technology*, 9(2): 115-125.

Wiese, K.; Dalmaso, J. 1994. Relationships of color, viscosity, organic acid profiles and ascorbic acid content to addition of organic acids and salt in tomato juice. *Journal of Food Quality*, 17(4), 273e284.

Winterhalter, P.; Rouseff, L. 2002. Carotenoid-derived aroma compounds: An introduction. In *Carotenoid-Derived Aroma Compounds*; Winterhalter, P., Rouseff, R.L., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, USA. pp. 1–17.

Wright, K.; Kader, A. 1997b. Effect of slicing and controlled atmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. *Postharvest Biology and Technology*, 10(1): 39-48.

Yahia. 1994. Apple flavor. *Hort. Rev.* 16: 197-234.

Yilmaz, Y.; Toledo, R. 2005. Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products. *Food Chem.*, 93, 273–278

Yu, I. 2001. Amorphous pharmaceutical solids: Preparation, characterization and stabilization. *International Journal of Pharmaceutics*, 48, 27-42.

Zapata, K.; Rojano, B.; Cortes, F. 2015. Efecto Térmico del Secado por Aspersión sobre los Metabolitos Antioxidantes de la Curuba Larga (*Passiflora mollissima* baley), doi: 10.4067/S0718-07642015000100009, *Información Tecnológica*. (en línea), 26(1), 77-84.

Zeiger y Taiz. 2006. *Fisiología Vegetal*. Volumen 1. Universidad California. Universitat

Jaume. Book Print Digital S, A.

Zhang, B.; Xi, P.; Wei, W.; Shen, Y.; Ferguson, I.; Chen, S. 2011. Changes in aroma-related volatiles and gene expression during low temperature storage and subsequent shelf-life of peach fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 60, 7–16.

Zielinski, H.; Kosłowska, H. 2000. Antioxidant activity and total phenolics in selected cereal grains and their different morphological fractions. *J. Agric. Food Chem.* 48, 2008–2016.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

Característica	Repeticiones	Contenido
Humedad (%)	R1	57.972
	R2	59.686
	R3	60.147
Acidez titulable (% ácido cítrico)	R1	0.232
	R2	0.239
	R3	0.219
pH	R1	5.840
	R2	5.850
	R3	5.870
Sólidos solubles (%)	R1	20.800
	R2	20.800
	R3	21.200
Compuestos fenólicos totales (mg AGE / g bs)	R1	1.217
	R2	1.192
	R3	1.352
Capacidad antioxidante hidrofílica ($\mu\text{mol TE/g bs}$)	R1	17.531
	R2	17.788
	R3	24.640
Carotenoides totales (mg β -caroteno /g bs)	R1	0.175
	R2	0.162
	R3	0.172

ANEXO 2: DATOS PARA CURVA DE SECADO A 50 °C

Registro de g agua/g ms en función del tiempo (min)	
Tiempo	g agua/g ms
0.00	1.509
10.00	1.277
20.00	1.046
30.00	0.880
40.00	0.715
50.38	0.632
60.38	0.516
71.81	0.450
80.81	0.367
90.81	0.284
100.81	0.268
110.05	0.218
120.05	0.202
129.18	0.169
140.56	0.135
150.56	0.119
165.46	0.102
169.46	0.053

ANEXO 3: DATOS PARA CURVA DE SECADO A 60 °C

Registro de g agua/g ms en función del tiempo (min)	
Tiempo	g agua/g ms
0.00	1.481
10.00	1.143
20.00	0.890
30.00	0.637
40.00	0.502
50.42	0.384
60.42	0.299
70.42	0.232
80.42	0.182
90.42	0.181
100.11	0.147
110.11	0.114
121.36	0.131
129.47	0.114

ANEXO 4: DATOS PARA CURVA DE SECADO A 70 °C

Registro de g agua/g ms en función del tiempo (min)	
Tiempo	g agua/g ms
0	1.379
10.00	1.070
20.00	0.777
30.36	0.545
40.36	0.406
50.49	0.267
60.49	0.221
70.34	0.143
80.71	0.097
90.74	0.066
98.74	0.082

ANEXO 5: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

T	Repeticiones	Humedad	Comp.fenólicos	Cap.antioxidante	Carotenoides totales	Densidad aparente	Higroscopicidad	Solubilidad	Rendimiento
(°C)		%	AGE (mg/g bs)	TE (μmol/g bs)	β-caroteno (mg/g bs)	g/mL	%	%	%
50	R1	12.338	0.842	14.758	0.194	0.562	9.794	44.571	29.000
	R2	10.723	0.779	13.609	0.239	0.609	11.727	47.400	28.000
	R3	7.513	0.807	13.253	0.227	0.716	15.174	49.481	27.000
60	R1	6.850	0.695	11.882	0.158	0.711	15.997	51.160	27.000
	R2	8.420	0.683	11.259	0.139	0.629	14.161	45.429	28.000
	R3	7.291	0.683	10.595	0.148	0.596	9.068	48.140	26.000
70	R1	11.638	1.052	16.394	0.202	0.547	10.978	49.231	31.000
	R2	9.380	1.038	16.880	0.183	0.720	14.013	50.781	29.000
	R3	7.472	0.951	14.745	0.171	0.815	15.929	51.111	30.000

ANEXO 6: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-HUMEDAD DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Humedad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11.5227	2	5.76135	1.57	0.2836
Intra grupos	22.0739	6	3.67898		
Total (Corr.)	33.5965	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60 °C	3	7.52033	X
70 °C	3	9.49667	X
50 °C	3	10.1913	X

ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-COMPUESTOS FENÓLICOS DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Compuestos fenólicos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.554679	3	0.184893	64.61	0.0000
Intra grupos	0.022894	8	0.00286175		
Total (Corr.)	0.577573	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Compuestos fenólicos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60 °C	3	0.687	X
50 °C	3	0.809333	X
70 °C	3	1.01367	X
Control	3	1.25367	X

ANEXO 8: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Capacidad antioxidante

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	122.803	3	40.9344	8.83	0.0064
Intra grupos	37.0883	8	4.63603		
Total (Corr.)	159.891	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para para Capacidad antioxidante

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60 °C	3	11.2453	X
50 °C	3	13.8733	X
70 °C	3	16.0063	XX
Control	3	19.9863	X

ANEXO 9: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-CAROTENOIDES TOTALES DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Carotenoides totales

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00820567	3	0.00273522	11.84	0.0026
Intra grupos	0.001848	8	0.000231		
Total (Corr.)	0.0100537	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Carotenoides totales

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60 °C	3	0.148333	X
Control	3	0.169667	X
70 °C	3	0.185333	XX
50 °C	3	0.22	X

ANEXO 10: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-DENSIDAD APARENTE DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Densidad aparente

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00686022	2	0.00343011	0.36	0.7087
Intra grupos	0.0563967	6	0.00939944		
Total (Corr.)	0.0632569	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Densidad aparente

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	0.629	X
60 °C	3	0.645333	X
70 °C	3	0.694	X

ANEXO 11: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-HIGROSCOPICIDAD DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Higroscopicidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3.01402	2	1.50701	0.17	0.8473
Intra grupos	53.0927	6	8.84878		
Total (Corr.)	56.1067	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Higroscopicidad

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	12.2317	X
60 °C	3	13.0753	X
70 °C	3	13.64	X

ANEXO 12:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-SOLUBILIDAD DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Solubilidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	16.1278	2	8.0639	1.58	0.2808
Intra grupos	30.6007	6	5.10011		
Total (Corr.)	46.7285	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Solubilidad

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	47.1507	X
60 °C	3	48.243	X
70 °C	3	50.3743	X

ANEXO 13:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RENDIMIENTO DE LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Rendimiento

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	14.0	2	7.0	7.00	0.0270
Intra grupos	6.0	6	1.0		
Total (Corr.)	20.0	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Rendimiento

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60 °C	3	27.0	X
50 °C	3	28.0	XX
70 °C	3	30.0	X

ANEXO 14:RETENCIÓN DE CAROTENOIDES EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

T (°C)	Repeticiones	Porcentaje de retención							
		Neoxantina	Violaxantina	Isom.luteina	Cis-violaxantina	Zeaxantina	Isome.luteina	Criptoxantina	β-Caroteno
Control	R1	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
	R2	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
	R3	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
50	R1	185.105	165.389	163.640	176.881	132.417	187.986	101.898	49.808
	R2	139.450	98.106	98.013	135.827	113.272	189.885	104.606	80.254
	R3	249.683	156.838	110.137	159.950	71.995	140.015	70.494	58.606
60	R1	51.766	62.669	68.113	64.046	105.579	105.459	0.000	42.786
	R2	112.900	97.456	113.458	94.409	94.583	95.389	0.000	56.601
	R3	112.210	99.841	112.800	101.598	100.845	120.719	0.000	65.202
70	R1	184.969	90.460	105.628	107.353	151.520	174.747	0.000	96.608
	R2	168.445	81.556	111.205	102.728	171.524	206.803	0.000	82.519
	R3	234.954	121.640	101.116	160.606	105.593	155.616	0.000	71.388

ANEXO 15:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE NEOXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Neoxantina

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	28712.4	3	9570.79	6.96	0.0128
Intra grupos	10997.4	8	1374.68		
Total (Corr.)	39709.8	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Neoxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	3	92.292	X
Control	3	100.0	XX
50	3	191.413	X
70	3	196.123	X

ANEXO 16:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE VIOLAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Violaxantina

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4918.55	3	1639.52	2.96	0.0978
Intra grupos	4435.12	8	554.39		
Total (Corr.)	9353.67	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Violaxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	3	86.6553	X
70	3	97.8853	X
Control	3	100.0	X
50	3	140.111	X

ANEXO 17:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (A) EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Isómero de luteína (A)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1246.34	3	415.448	0.87	0.4976
Intra grupos	3841.08	8	480.135		
Total (Corr.)	5087.43	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Isómero de luteína (A)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	3	98.1237	X
Control	3	100.0	X
70	3	105.983	X
50	3	123.93	X

ANEXO 18:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE CIS-VIOLAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Cis-Violaxantina

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	8686.84	3	2895.61	6.24	0.0173
Intra grupos	3714.96	8	464.37		
Total (Corr.)	12401.8	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Cis-Violaxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	3	86.6843	X
Control	3	100.0	X
70	3	123.562	XX
50	3	157.553	X

ANEXO 19:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ZEAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Zeaxantina

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3811.61	3	1270.54	2.39	0.1444
Intra grupos	4253.34	8	531.668		
Total (Corr.)	8064.95	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Zeaxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	100.0	X
60	3	100.336	X
50	3	105.895	X
70	3	142.879	X

ANEXO 20:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (B) EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Isómero de luteína (B)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	15798.6	3	5266.19	12.92	0.0020
Intra grupos	3260.47	8	407.559		
Total (Corr.)	19059.1	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Isómero de luteína (B)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	100.0	X
60	3	107.189	X
50	3	172.629	X
70	3	179.055	X

ANEXO 21:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (B)
EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Criptoxantina

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	27832.1	3	9277.36	103.22	0.0000
Intra grupos	719.058	8	89.8822		
Total (Corr.)	28551.1	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Criptoxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	3	0	X
70	3	0	X
50	3	92.3327	X
control	3	100.0	X

ANEXO 22:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE B-CAROTENO EN HARINAS
OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de B-Caroteno

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3747.32	3	1249.11	9.37	0.0054
Intra grupos	1066.25	8	133.281		
Total (Corr.)	4813.57	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de B-Caroteno

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	3	54.863	X
50	3	62.8893	X
70	3	83.505	XX
control	3	100.0	X

ANEXO 23:RETENCIÓN DE CAROTENOIDES EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

T (°C)	MD %	Repeticiones	Porcentaje de retención							
			Neoxantina	Violaxantina	Isom.luteina	Cis-violaxantina	Zeaxantina	Isome.luteina	Criptoxantina	β-Caroteno
175	4.5	R1	229.575	174.793	142.145	198.131	112.952	204.656	0.000	56.532
	4.5	R2	163.572	114.443	101.301	136.242	93.262	171.971	0.000	54.692
	4.5	R3	173.559	125.560	112.758	132.970	101.075	157.547	0.000	59.335
147.5	4.5	R1	55.603	59.160	60.013	39.932	28.876	58.428	0.000	39.662
	4.5	R2	200.293	126.564	106.437	148.656	97.966	152.832	0.000	56.908
	4.5	R3	121.642	78.190	56.084	98.074	48.497	104.953	0.000	39.380
120	4.5	R1	182.653	118.085	87.401	128.279	64.371	118.510	0.000	40.977
	4.5	R2	213.328	126.156	97.184	144.134	92.757	169.459	0.000	47.491
	4.5	R3	239.540	140.692	114.219	168.126	112.720	185.005	0.000	56.796

ANEXO 24:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE NEOXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de Neoxantina

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	24732.8	3	8244.27	4.50	0.0394
Intra grupos	14646.8	8	1830.85		
Total (Corr.)	39379.6	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Neoxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	100.0	X
147	3	125.846	XX
175	3	188.902	XX
120	3	211.84	X

ANEXO 25:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE VIOLAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de Violaxantina

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4999.73	3	1666.58	2.81	0.1077
Intra grupos	4740.87	8	592.608		
Total (Corr.)	9740.59	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Violaxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147	3	87.9713	X
Control	3	100.0	X
120	3	128.311	X
175	3	138.265	X

ANEXO 26:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (A) EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de Isómero de luteína (A)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3011.74	3	1003.91	2.84	0.1055
Intra grupos	2824.75	8	353.093		
Total (Corr.)	5836.48	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Isómero de luteína (A)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147	3	74.178	X
120	3	99.6013	X
Control	3	100.0	X
175	3	118.735	X

ANEXO 27:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE CIS-VIOLAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de Cis-Violaxantina

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	8747.92	3	2915.97	2.48	0.1357
Intra grupos	9420.54	8	1177.57		
Total (Corr.)	18168.5	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Cis-Violaxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147	3	95.554	X
Control	3	100.0	X
120	3	146.846	X
175	3	155.781	X

ANEXO 28:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ZEAXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de Zeaxantina

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3687.27	3	1229.09	2.51	0.1323
Intra grupos	3912.44	8	489.055		
Total (Corr.)	7599.7	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Zeaxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147	3	58.4463	X
120	3	89.9493	X
Control	3	100.0	X
175	3	102.43	X

ANEXO 29:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE ISÓMERO DE LUTEÍNA (B) EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de Isómero de luteína (B)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	13403.9	3	4467.97	4.45	0.0407
Intra grupos	8041.26	8	1005.16		
Total (Corr.)	21445.2	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Isómero de luteína (B)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	100.0	X
147	3	105.404	X
120	3	157.658	X
175	3	178.058	X

ANEXO 30:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE CRIPTOXANTINA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de Criptoxantina

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	22500.0	3	7500.0		
Intra grupos	0	8	0		
Total (Corr.)	22500.0	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Criptoxantina

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
120	3	0	X
175	3	0	X
147	3	0	X
Control	3	100.0	X

ANEXO 31:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-RETENCIÓN DE B-CAROTENO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de B-Caroteno

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	5794.58	3	1931.53	45.59	0.0000
Intra grupos	338.93	8	42.3663		
Total (Corr.)	6133.51	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de B-Caroteno

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>B.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147	3	45.3167	X
120	3	48.4213	X
175	3	56.853	X
Control	3	100.0	X

ANEXO 32:CONTENIDO DE AZÚCARES, AZÚCAR-ALCOHOL Y ÁCIDOS ORGÁNICOS EN LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

T (°C)	Repeticiones	Contenido* (g/ 100 g bs)					
		Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Mio-inositol	Ácido málico	Ácido quínico
Control	R1	32.264	23.001	8.922	0.267	0.166	0.076
	R2	29.680	19.732	8.771	0.242	0.178	0.076
	R3	29.868	20.561	8.631	0.230	0.159	0.079
50	R1	26.799	19.714	2.283	0.181	0.291	0.108
	R2	33.379	24.899	2.831	0.188	0.291	0.110
	R3	34.817	25.712	4.218	0.199	0.232	0.040
60	R1	22.872	16.834	5.275	0.214	0.151	0.068
	R2	27.673	20.496	5.785	0.224	0.162	0.073
	R3	24.928	18.948	5.936	0.230	0.183	0.080
70	R1	29.641	23.149	1.395	0.197	0.366	0.094
	R2	29.919	24.044	1.655	0.205	0.285	0.111
	R3	24.065	19.331	7.288	0.172	0.235	0.037

ANEXO 33:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-GLUCOSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Glucosa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	76.7996	3	25.5999	2.76	0.1114
Intra grupos	74.1469	8	9.26836		
Total (Corr.)	150.947	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Glucosa

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>C.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	3	25.1567	X
70	3	27.8733	X
Control	3	30.6033	X
50	3	31.6667	X

ANEXO 34:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-FRUCTOSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Fructosa

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	35.4511	3	11.817	2.04	0.1865
Intra grupos	46.2873	8	5.78592		
Total (Corr.)	81.7384	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Fructosa

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>C.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	3	18.76	X
Control	3	21.0967	X
70	3	22.1733	X
50	3	23.44	X

ANEXO 35:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-SACAROSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Sacarosa

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	61.285	3	20.4283	6.67	0.0144
Intra grupos	24.5154	8	3.06443		
Total (Corr.)	85.8004	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Sacarosa

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>C.Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
70	3	1.52	X
50	3	3.11	X
60	3	5.66333	X
Control	3	8.77333	X

ANEXO 36:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-MIO-INOSITOL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Mio-inositol

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00669825	3	0.00223275	11.16	0.0031
Intra grupos	0.00160067	8	0.000200083		
Total (Corr.)	0.00829892	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Mio-inositol

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

C.Col_1	Casos	Media	Grupos Homogéneos
50	3	0.189333	X
70	3	0.191333	X
60	3	0.222667	XX
Control	3	0.246333	X

ANEXO 37:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-ÁCIDO MÁLICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Ácido málico

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0418222	3	0.0139407	9.47	0.0052
Intra grupos	0.0117747	8	0.00147183		
Total (Corr.)	0.0535969	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Ácido málico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

C.Col_1	Casos	Media	Grupos Homogéneos
60	3	0.165333	X
Control	3	0.167667	X
50	3	0.271333	X
70	3	0.295333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
-----------	------	------------	-------------

ANEXO 38:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-ÁCIDO QUÍNICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Ácido quínico

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000251333	3	0.0000837778	0.11	0.9536
Intra grupos	0.00625933	8	0.000782417		
Total (Corr.)	0.00651067	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Ácido quínico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

C.Col_1	Casos	Media	Grupos Homogéneos
60	3	0.0736667	X
Control	3	0.077	X
70	3	0.0806667	X
50	3	0.086	X

ANEXO 39:CONTENIDO DE AZÚCARES, AZÚCAR-ALCOHOL Y ÁCIDOS ORGÁNICOS EN LAS HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

T	MD	Repeticiones	Contenido* (g/ 100 g bs)					
			Glucosa	Fructosa	Sacarosa	Mio- inositol	Ácido málico	Ácido quínico
175	4.5	R1	25.905	25.905	0.000	0.133	0.203	0.046
	4.5	R2	16.972	16.972	0.000	0.127	0.155	0.045
	4.5	R3	20.366	20.366	0.000	0.111	0.163	0.039
175	6	R1	22.469	22.469	0.000	0.109	0.240	0.034
	6	R2	20.243	20.243	0.000	0.107	0.232	0.034
	6	R3	20.753	20.753	0.000	0.110	0.252	0.037
147.5	4.5	R1	20.24	16.74	0.000	0.111	0.171	0.037
	4.5	R2	21.28	18.10	0.000	0.116	0.171	0.039
	4.5	R3	18.28	16.26	0.000	0.112	0.166	0.037
175	3	R1	24.294	20.147	0.000	0.115	0.278	0.036
	3	R2	15.637	15.178	0.000	0.117	0.244	0.037
	3	R3	28.386	21.029	0.000	0.116	0.291	0.034
120	3	R1	23.981	17.979	0.000	0.117	0.197	0.039
	3	R2	20.445	15.898	0.000	0.112	0.187	0.038
	3	R3	23.517	18.211	0.000	0.118	0.199	0.039
120	6	R1	14.793	12.800	0.000	0.097	0.124	0.036
	6	R2	15.907	12.797	0.000	0.105	0.140	0.038
	6	R3	17.749	14.950	0.000	0.105	0.146	0.038
147.5	3	R1	15.098	13.024	5.558	0.125	0.176	0.042
	3	R2	15.177	12.869	4.874	0.000	0.000	0.000
	3	R3	13.456	11.407	4.812	0.109	0.095	0.047
120	4.5	R1	13.890	14.525	0.000	0.131	0.159	0.044
	4.5	R2	15.544	16.022	0.000	0.128	0.153	0.044
	4.5	R3	12.930	13.332	0.000	0.112	0.140	0.039
147.5	6	R1	13.330	11.977	0.000	0.122	0.108	0.045
	6	R2	15.348	14.845	0.000	0.119	0.108	0.046
	6	R3	11.772	11.780	0.000	0.116	0.100	0.043

ANEXO 40:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-GLUCOSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Glucosa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	153.31	76.656	8.82	0.002
Encapsulante	2	42.44	21.222	2.44	0.115
Temperatura*Encapsulante	4	153.57	38.393	4.42	0.012
Error	18	156.45	8.692		
Total	26	505.78			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Glucosa, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
175.0	9	21.6696	A
120.0	9	17.6395	B
147.5	9	15.9979	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Glucosa, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
3.0	9	19.9990	A
4.5	9	18.3786	A
6.0	9	16.9294	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Glucosa, Término = Temperatura*Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
175.0 3.0	3	22.7723	A
120.0 3.0	3	22.6477	A
175.0 6.0	3	21.1552	A B
175.0 4.5	3	21.0812	A B
147.5 4.5	3	19.9335	A B
120.0 6.0	3	16.1496	A B
147.5 3.0	3	14.5769	A B
120.0 4.5	3	14.1212	B
147.5 6.0	3	13.4833	B

ANEXO 41:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-FRUCTOSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Fructosa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	199.97	99.984	21.80	0.000
Encapsulante	2	15.17	7.585	1.65	0.219
Temperatura*Encapsulante	4	58.00	14.501	3.16	0.039
Error	18	82.56	4.587		
Total	26	355.70			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Fructosa, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
175.0	9	20.3405	A
120.0	9	15.1683	B
147.5	9	14.1123	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Fructosa, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
4.5	9	17.5813	A
3.0	9	16.1938	A
6.0	9	15.8461	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Fructosa, Término = Temperatura*Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
175.0 6.0	3	21.1552	A
175.0 4.5	3	21.0812	A
175.0 3.0	3	18.7850	A B
120.0 3.0	3	17.3629	A B C
147.5 4.5	3	17.0363	A B C
120.0 4.5	3	14.6263	B C
120.0 6.0	3	13.5157	B C
147.5 6.0	3	12.8674	B C
147.5 3.0	3	12.4334	C

ANEXO 42:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-SACAROSA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Sacarosa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	17.2138	8.60691	453.06	0.000
Encapsulante	2	17.2138	8.60691	453.06	0.000
Temperatura*Encapsulante	4	34.4276	8.60691	453.06	0.000
Error	18	0.3419	0.01900		
Total	26	69.1972			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Sacarosa, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
147.5	9	1.69380	A
120.0	9	0.00000	B
175.0	9	0.00000	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Sacarosa, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
3.0	9	1.69380	A
6.0	9	0.00000	B
4.5	9	0.00000	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Sacarosa, Término = Temperatura*Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
147.5 3.0	3	5.08141	A
175.0 6.0	3	0.00000	B
120.0 4.5	3	0.00000	B
120.0 6.0	3	0.00000	B
175.0 4.5	3	0.00000	B
147.5 4.5	3	-0.00000	B
147.5 6.0	3	-0.00000	B
120.0 3.0	3	-0.00000	B
175.0 3.0	3	-0.00000	B

ANEXO 43:ANÁLISIS ESTADÍSTICO MIO-INOSITOL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Mio-inositol

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	0.000847	0.000423	0.78	0.475
Encapsulante	2	0.001318	0.000659	1.21	0.322
Temperatura*Encapsulante	4	0.002662	0.000665	1.22	0.338
Error	18	0.009830	0.000546		
Total	26	0.014656			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Mio-inositol, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
175.0	9	0.116002	A
120.0	9	0.113745	A
147.5	9	0.103156	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Mio-inositol, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
4.5	9	0.120056	A
6.0	9	0.109778	A
3.0	9	0.103069	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Mio-inositol, Término = Temperatura*Encapsula

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
175.0 4.5	3	0.123714	A
120.0 4.5	3	0.123702	A
147.5 6.0	3	0.118781	A
175.0 3.0	3	0.115829	A
120.0 3.0	3	0.115442	A
147.5 4.5	3	0.112751	A
175.0 6.0	3	0.108462	A
120.0 6.0	3	0.102090	A
147.5 3.0	3	0.077936	A

ANEXO 44:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-ÁCIDO MÁLICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Ácido málico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	0.052837	0.026418	25.21	0.000
Encapsulante	2	0.003037	0.001518	1.45	0.261
Temperatura*Encapsulante	4	0.027864	0.006966	6.65	0.002
Error	18	0.018862	0.001048		
Total	26	0.102599			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido málico, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
175.0	9	0.228763	A
120.0	9	0.160453	B
147.5	9	0.121763	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido málico, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
3.0	9	0.185218	A
4.5	9	0.164424	A
6.0	9	0.161336	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido málico, Término = Temperatura*Encapsula

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
175.0 3.0	3	0.270978	A
175.0 6.0	3	0.241725	A B
120.0 3.0	3	0.194154	A B C
175.0 4.5	3	0.173585	B C D
147.5 4.5	3	0.169382	B C D
120.0 4.5	3	0.150306	B C D
120.0 6.0	3	0.136898	C D
147.5 6.0	3	0.105385	C D
147.5 3.0	3	0.090522	D

ANEXO 45:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-ÁCIDO QUÍNICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Ácido quínico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	0.000023	0.000011	0.15	0.862
Encapsulante	2	0.000192	0.000096	1.25	0.310
Temperatura*Encapsulante	4	0.000308	0.000077	1.01	0.430
Error	18	0.001378	0.000077		
Total	26	0.001901			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido quínico, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
120.0	9	0.0394391	A
175.0	9	0.0380330	A
147.5	9	0.0372079	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido quínico, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
4.5	9	0.0410200	A
6.0	9	0.0390200	A
3.0	9	0.0346400	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido quínico, Término = Temperatura*Encapsul

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
147.5 6.0	3	0.0445302	A
175.0 4.5	3	0.0432362	A
120.0 4.5	3	0.0422079	A
120.0 3.0	3	0.0386851	A
147.5 4.5	3	0.0376160	A
120.0 6.0	3	0.0374244	A
175.0 3.0	3	0.0357575	A
175.0 6.0	3	0.0351053	A
147.5 3.0	3	0.0294775	A

ANEXO 46: PARÁMETROS DE COLOR PARA HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

T (°C)	Repeticiones	L	a*	b*	C	H°	ΔE
Control	R1	88.005	3.413	36.975	37.135	84.725	
	R2	87.800	3.405	37.078	37.233	84.750	
	R3	87.547	3.327	37.067	37.213	84.873	
50	R1	78.857	7.967	43.033	43.767	79.510	11.705
	R2	78.690	8.940	44.840	45.720	78.723	13.222
	R3	79.513	5.823	39.243	39.673	81.563	8.920
60	R1	82.037	4.917	39.607	39.913	82.923	6.498
	R2	81.630	5.330	40.320	39.743	82.077	7.259
	R3	82.477	5.027	39.727	40.353	82.377	6.190
70	R1	77.013	7.257	40.397	41.043	79.817	11.947
	R2	78.670	6.313	39.847	40.343	81.003	9.996
	R3	79.670	5.910	41.510	41.927	81.900	9.621

ANEXO 47:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO L EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Parámetro L

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	164.434	3	54.8113	98.66	0.0000
Intra grupos	4.44444	8	0.555555		
Total (Corr.)	168.878	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro L

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
70	3	78.451	X
50	3	79.02	X
60	3	82.048	X
Control	3	87.784	X

ANEXO 48:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO A* EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Parámetro a*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	29.6397	3	9.87989	12.88	0.0020
Intra grupos	6.13838	8	0.767297		
Total (Corr.)	35.778	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro a*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	3.38167	X
60	3	5.09133	XX
70	3	6.49333	XX
50	3	7.57667	X

ANEXO 49:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO B* EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Parámetro b*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	44.2188	3	14.7396	6.53	0.0152
Intra grupos	18.0521	8	2.25651		
Total (Corr.)	62.2709	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro b*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	37.04	X
60	3	39.8847	XX
70	3	40.5847	XX
50	3	42.372	X

ANEXO 50:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO C EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Parámetro C

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	53.8781	3	17.9594	7.00	0.0126
Intra grupos	20.5108	8	2.56385		
Total (Corr.)	74.3889	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro C

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	37.1937	x
60	3	40.003	xx
70	3	41.1043	xx
50	3	43.0533	x

ANEXO 51:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO H EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Parámetro H

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	40.2729	3	13.4243	15.65	0.0010
Intra grupos	6.86379	8	0.857973		
Total (Corr.)	47.1367	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro H

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50	3	79.932	x
70	3	80.9067	xx
60	3	82.459	xx
Control	3	84.7827	x

ANEXO 52:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO DE EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Parámetro dE

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	37.0419	2	18.5209	8.39	0.0183
Intra grupos	13.2463	6	2.20771		
Total (Corr.)	50.2881	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro dE

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60	3	6.649	x
70	3	10.5213	x
50	3	11.2823	x

ANEXO 53: PARÁMETROS DE COLOR PARA HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE
SECADO POR ATOMIZACIÓN

T	MD	Repeticiones	L	a*	b*	C	H°	ΔE
(°C)	%							
175	4.5	R1	75.610	8.777	43.887	44.757	78.693	14.991
	4.5	R2	74.877	8.897	44.760	45.637	78.757	16.037
	4.5	R3	74.960	8.877	44.357	45.237	78.677	15.772
175	6	R1	77.263	7.817	46.123	46.780	80.380	14.606
	6	R2	77.793	7.220	46.100	46.663	81.103	14.039
	6	R3	77.957	7.133	45.527	46.083	81.097	13.532
147.5 (T3)	4.5	R1	73.030	9.833	43.757	44.850	77.340	17.466
	4.5	R2	73.097	9.987	43.220	44.360	76.993	17.268
	4.5	R3	72.843	10.180	42.753	43.950	76.603	17.400
175	3	R1	78.743	5.827	43.867	44.250	82.430	11.608
	3	R2	78.067	5.933	44.890	45.283	82.473	12.768
	3	R3	78.997	5.827	43.917	44.303	82.443	11.441
147.5 (T5)	4.5	R1	74.253	9.017	43.347	44.277	78.243	15.976
	4.5	R2	73.823	9.133	43.173	44.130	78.057	16.317
	4.5	R3	74.063	8.867	44.203	45.087	78.663	16.440
120	3	R1	76.333	8.227	43.473	44.247	79.287	14.018
	3	R2	76.943	7.267	43.500	44.103	80.527	13.223
	3	R3	77.297	7.117	42.993	43.580	80.593	12.644
147.5 (T7)	4.5	R1	74.523	8.923	43.470	44.380	78.403	15.764
	4.5	R2	74.947	8.710	43.677	44.537	78.723	15.421
	4.5	R3	75.320	8.630	43.400	44.247	78.753	14.964
147.5 (T8)	4.5	R1	72.493	10.303	42.817	44.037	76.463	17.770
	4.5	R2	71.777	10.280	42.420	43.647	76.380	18.262
	4.5	R3	73.623	9.473	43.467	44.483	77.707	16.720
120	6	R1	74.010	9.540	44.577	45.590	77.920	16.884
	6	R2	73.097	10.060	44.700	45.823	77.313	17.879
	6	R3	73.493	9.477	44.580	45.583	78.003	17.288
147.5	3	R1	77.203	8.960	47.710	48.543	79.360	16.043
	3	R2	77.423	8.673	47.600	48.383	79.673	15.726
	3	R3	77.380	8.537	48.147	48.900	79.950	16.082
120	4.5	R1	74.310	8.747	41.807	42.717	78.180	15.286
	4.5	R2	75.053	8.120	41.827	42.610	79.013	14.423
	4.5	R3	74.250	8.413	42.557	43.383	78.820	15.477
147.5	6	R1	77.140	7.560	45.707	46.330	80.610	14.365
	6	R2	76.757	8.133	45.683	46.403	79.900	14.812
	6	R3	77.563	7.577	44.683	45.320	80.377	15.433

ANEXO 54: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO L EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Parámetro L

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	131.983	9	14.6647	6.75	0.0002
Intra grupos	45.6392	21	2.1733		
Total (Corr.)	177.622	30			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro L

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
120 4.5	3	77.3357	X
147.5 3	3	77.9797	X
147.5 6	3	78.2253	X
147.5 4.5	4	78.3415	X
120 3	3	78.669	X
175 4.5	3	78.709	X
120 6	3	79.841	X
175 6	3	80.86	XX
175 3	3	81.053	XX
Control	3	84.7827	X

ANEXO 55: ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO A* EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Parámetro a*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	96.5217	9	10.7246	8.93	0.0000
Intra grupos	25.2075	21	1.20036		
Total (Corr.)	121.729	30			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro a*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	3.38167	X
175 3	3	6.92567	X
175 6	3	7.39	X
120 6	3	7.769	X
120 3	3	8.74233	X
175 4.5	3	8.85033	X
147.5 4.5	4	8.95675	X
147.5 3	3	9.21433	X
147.5 6	3	9.499	X
120 4.5	3	9.76433	X

ANEXO 56:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO B* EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Parámetro b*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	159.82	9	17.7578	30.18	0.0000
Intra grupos	12.3562	21	0.588392		
Total (Corr.)	172.176	30			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro b*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	37.04	X
147.5 3	3	43.298	X
120 6	3	43.321	X
147.5 4.5	4	43.3993	X
120 4.5	3	43.488	XX
120 3	3	43.6163	XX
175 3	3	44.0513	XXX
175 4.5	3	44.3347	XXX
147.5 6	3	45.6633	XX
175 6	3	45.9167	X

ANEXO 57:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO C EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Parámetro C

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	185.724	9	20.636	43.09	0.0000
Intra grupos	10.057	21	0.478903		
Total (Corr.)	195.781	30			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro C

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Control	3	37.1937	X
120 6	3	44.021	X
147.5 3	3	44.2737	X
147.5 4.5	4	44.3525	X
120 3	3	44.488	X
120 4.5	3	44.5733	XX
175 3	3	44.621	XX
175 4.5	3	45.2103	XXX
175 6	3	46.5087	XX
147.5 6	3	46.6497	X

ANEXO 58:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO H EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Parámetro H

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	131.983	9	14.6647	6.75	0.0002
Intra grupos	45.6392	21	2.1733		
Total (Corr.)	177.622	30			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro H

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
120 4.5	3	77.3357	X
147.5 3	3	77.9797	X
147.5 6	3	78.2253	X
147.5 4.5	4	78.3415	X
120 3	3	78.669	X
175 4.5	3	78.709	X
120 6	3	79.841	X
175 6	3	80.86	XX
175 3	3	81.053	XX
Control	3	84.7827	X

ANEXO 59:ANÁLISIS ESTADÍSTICO-PARÁMETRO DE EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Parámetro dE

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	46.0684	8	5.75855	2.03	0.0985
Intra grupos	53.9872	19	2.84143		
Total (Corr.)	100.056	27			

Pruebas de Múltiple Rangos para Parámetro dE

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
175 3	3	13.395	X
120 6	3	13.877	X
175 6	3	14.059	X
120 3	3	15.5917	X
175 4.5	3	15.6	X
147.5 4.5	4	15.9355	X
147.5 3	3	16.0517	X
147.5 6	3	17.07	X
120 4.5	3	17.2887	X

ANEXO 60: RETENCIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Tratamiento	Retención* (%)						
	2,3-Butanodiona	(E)-2-Hexenal	Ácido acético	Ácido butanoico	3-Metil-1-Butanol	Ácido hexanoico	3(E)-Ácido hexenoico
Control	100	100	100	100	100	100	100
50	61.7	44.2	149	132	124	143	146
60	65.1	20.8	135.2	111	97.2	107.3	124.7
70	38.6	31.8	128.3	80	104.1	145.6	89.9

ANEXO 61: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 2.3 BUTANODIONA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de 2.3 butanodiona

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1250.74	2	625.372	11.64	0.0086
Intra grupos	322.453	6	53.7421		
Total (Corr.)	1573.2	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de 2.3 butanodiona

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60 °C	3	34.9067	X
50 °C	3	38.3113	X
70 °C	3	61.442	X

ANEXO 62: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE (E)-2 HEXENAL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de (E)-2 Hexenal

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	824.322	2	412.161	6.88	0.0280
Intra grupos	359.692	6	59.9486		
Total (Corr.)	1184.01	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de (E)-2 Hexenal

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	55.7877	X
70 °C	3	68.238	XX
60 °C	3	79.2147	X

ANEXO 63: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Ácido acético

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	182.426	2	91.2129	0.08	0.9263
Intra grupos	7060.28	6	1176.71		
Total (Corr.)	7242.71	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Ácido acético

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	22.512	X
70 °C	3	39.142	X
60 °C	3	39.781	X

ANEXO 64: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO BUTANOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Ácido butanoico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1067.36	2	533.679	1.67	0.2648
Intra grupos	1915.27	6	319.212		
Total (Corr.)	2982.63	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Ácido butanoico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60 °C	3	11.3237	X
70 °C	3	19.953	X
50 °C	3	37.4977	X

ANEXO 65: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 3METIL-1 BUTANOL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de 3 metil-1 butanol

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	636.362	2	318.181	1.95	0.2232
Intra grupos	981.336	6	163.556		
Total (Corr.)	1617.7	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de 3 metil-1 butanol

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60 °C	3	7.517	X
70 °C	3	15.4813	X
50 °C	3	27.9493	X

ANEXO 66: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO HEXANOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de Ácido hexanoico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2786.79	2	1393.4	6.63	0.0302
Intra grupos	1260.26	6	210.044		
Total (Corr.)	4047.06	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Ácido hexanoico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
60 °C	3	7.271	X
50 °C	3	43.5213	XX
70 °C	3	45.591	X

ANEXO 67: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 3E-HEXENOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO EN CABINA

Análisis de Varianza para Retención de 3E-Hexenoico

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1500.09	2	750.044	2.58	0.1554
Intra grupos	1744.34	6	290.724		
Total (Corr.)	3244.43	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de 3E-Hexenoico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Col_1	Casos	Media	Grupos Homogéneos
70 °C	3	15.021	X
60 °C	3	38.4617	XX
50 °C	3	46.2867	X

ANEXO 68: RETENCIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Tratamiento	Retención* (%)						
	2,3-Butanodiona	(E)-2-Hexenal	Ácido acético	Ácido butanoico	3-Metil-1-Butanol	Ácido hexanoico	3(E)-Ácido hexenoico
Control	100	100	100	100	100	100	100
175°C 4%	40.27	25.23	61.2	42.4	92.43	138.17	34.3
175°C 6%	35.93	29.47	53.83	43.43	85.77	162.7	37.9
147°C 4%	42.02	24.88	58.21	51.28	87.13	141.84	47.42
175°C 3%	35.4	33.73	38.07	39.37	75.2	168.33	34.47
120°C 3%	42	53.83	44.4	47.8	68.57	229.73	63.33
120°C 6%	46.13	39	61.3	51.23	84.37	151.63	41.2
147°C 3%	35.33	34.27	60.1	46.2	92.4	154.5	53.97
120°C 4%	48.47	24.6	70	55.93	79.57	246.4	59.6
147°C 6%	58.43	34.7	72.47	67.77	92.63	169.33	69.87

ANEXO 69: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 2.3 BUTANODIONA EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de 2.3 butanodiona

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	403.4	201.72	14.26	0.000
Encapsulante	2	398.7	199.37	14.09	0.000
Temperatura*Encapsulante	4	558.2	139.56	9.86	0.000
Error	18	254.7	14.15		
Total	26	1615.			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = 2,3-Butanodiona, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
175.0	9	62.7856	A
147.5	9	54.7318	B
120.0	9	54.4467	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = 2,3-Butanodiona, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
3.0	9	62.4212	A
4.5	9	56.3980	B
6.0	9	53.1448	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = 2,3-Butanodiona, Término = Temperatura*Encaps

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
147.5 3.0	3	64.6837	A
175.0 3.0	3	64.5990	A B
175.0 6.0	3	64.0280	A B
175.0 4.5	3	59.7297	A B C
120.0 3.0	3	57.9810	A B C
147.5 4.5	3	57.9640	A B C
120.0 6.0	3	53.8587	B C
120.0 4.5	3	51.5003	C D
147.5 6.0	3	41.5477	D

ANEXO 70: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE (E)-2 HEXENAL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de (E)-2 Hexenal

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	470.1	235.03	11.84	0.001
Encapsulante	2	1105.7	552.84	27.86	0.000
Temperatura*Encapsulante	4	455.5	113.88	5.74	0.004
Error	18	357.2	19.84		
Total	26	2388.5			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = (E)-2-Hexenal, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
175.0	9	70.5244	A
147.5	9	68.5841	A
120.0	9	60.8641	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = (E)-2-Hexenal, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
4.5	9	74.9607	A
6.0	9	65.6238	B
3.0	9	59.3882	C

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = (E)-2-Hexenal, Término = Temperatura*Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
120.0 4.5	3	75.4230	A
175.0 4.5	3	74.7603	A
147.5 4.5	3	74.6987	A
175.0 6.0	3	70.5523	A B
175.0 3.0	3	66.2607	A B
147.5 3.0	3	65.7410	A B
147.5 6.0	3	65.3127	A B
120.0 6.0	3	61.0063	B
120.0 3.0	3	46.1630	C

ANEXO 71: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de Ácido acético

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	684.4	342.2	1.24	0.312
Encapsulante	2	1379.1	689.5	2.50	0.110
Temperatura*Encapsulante	4	869.4	217.3	0.79	0.547
Error	18	4955.5	275.3		
Total	26	7888.3			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido acético, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
175.0	9	48.9657	A
120.0	9	41.4361	A
147.5	9	36.7424	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido acético, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
3.0	9	52.4876	A
6.0	9	37.4461	A
4.5	9	37.2106	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido acético, Término = Temperatura*Encapsul

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
175.0 3.0	3	61.9283	A
120.0 3.0	3	55.6060	A
175.0 6.0	3	46.1597	A
147.5 4.5	3	42.7890	A
147.5 3.0	3	39.9283	A
175.0 4.5	3	38.8090	A
120.0 6.0	3	38.6687	A
120.0 4.5	3	30.0337	A
147.5 6.0	3	27.5100	A

ANEXO 72: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO BUTANOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de Ácido butanoico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	892.8	446.4	2.10	0.151
Encapsulante	2	427.4	213.7	1.01	0.385
Temperatura*Encapsulante	4	446.3	111.6	0.53	0.718
Error	18	3822.8	212.4		
Total	26	5589.3			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido butanoico, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
175.0	9	58.2614	A
120.0	9	48.3419	A
147.5	9	44.6413	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido butanoico, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
3.0	9	55.5421	A
4.5	9	49.8580	A
6.0	9	45.8446	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido butanoico, Término = Temperatura*Encaps

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
175.0 3.0	3	60.6317	A
175.0 4.5	3	57.5847	A
175.0 6.0	3	56.5680	A
147.5 3.0	3	53.7897	A
120.0 3.0	3	52.2050	A
120.0 6.0	3	48.7527	A
147.5 4.5	3	47.9213	A
120.0 4.5	3	44.0680	A
147.5 6.0	3	32.2130	A

ANEXO 73: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE 3METIL-1 BUTANOL EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de 3 metil-1 butanol

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	697.9	348.97	4.58	0.025
Encapsulante	2	299.9	149.96	1.97	0.168
Temperatura*Encapsulante	4	675.5	168.87	2.22	0.108
Error	18	1370.2	76.12		
Total	26	3043.5			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = 3-Metil-1-Butanol, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
120.0	9	22.4752	A
175.0	9	17.1243	A
147.5	9	10.0607	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = 3-Metil-1-Butanol, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
3.0	9	21.2620	A
4.5	9	14.3829	A
6.0	9	14.0153	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = 3-Metil-1-Butanol, Término = Temperatura*Enca

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
120.0 3.0	3	31.4107	A
175.0 3.0	3	24.7827	A
120.0 4.5	3	20.4087	A
175.0 6.0	3	19.0497	A
120.0 6.0	3	15.6063	A
147.5 4.5	3	15.1993	A
147.5 3.0	3	7.5927	A
175.0 4.5	3	7.5407	A
147.5 6.0	3	7.3900	A

ANEXO 74: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE ÁCIDO HEXANOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de ácido hexanoico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	15786	7893.0	8.11	0.003
Encapsulante	2	2691	1345.4	1.38	0.276
Temperatura*Encapsulante	4	14632	3658.1	3.76	0.022
Error	18	17518	973.2		
Total	26	50627			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido hexanoico, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
120.0	9	109.274	A
147.5	9	59.725	B
175.0	9	56.399	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido hexanoico, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
3.0	9	84.2056	A
4.5	9	79.9636	A
6.0	9	61.2290	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Ácido hexanoico, Término = Temperatura*Encaps

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
120.0 4.5	3	146.432	A
120.0 3.0	3	129.747	A B
147.5 6.0	3	69.342	A B C
175.0 3.0	3	68.327	A B C
175.0 6.0	3	62.701	A B C
147.5 4.5	3	55.289	B C
147.5 3.0	3	54.543	B C
120.0 6.0	3	51.644	B C
175.0 4.5	3	38.170	C

ANEXO 75: DIFERENCIAL DE RETENCIÓN DE E(3) -HEXENOICO EN HARINAS OBTENIDAS MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Retención de E(3) -Hexenoico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	2	2518.69	1259.34	6.03	0.010
Encapsulante	2	54.93	27.47	0.13	0.878
Temperatura*Encapsulante	4	1599.67	399.92	1.91	0.152
Error	18	3759.73	208.87		
Total	26	7933.02			

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = 3(E)-Ácido hexenoico, Término = Temperatura

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
175.0	9	64.4421	A
120.0	9	45.2986	B
147.5	9	42.8319	B

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = 3(E)-Ácido hexenoico, Término = Encapsulante

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Encapsulante	N	Media	Agrupación
4.5	9	52.8007	A
6.0	9	50.3549	A
3.0	9	49.4170	A

Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = 3(E)-Ácido hexenoico, Término = Temperatura*E

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Temperatura*Encapsulante	N	Media	Agrupación
175.0 4.5	3	65.6683	A
175.0 3.0	3	65.5500	A
175.0 6.0	3	62.1080	A
120.0 6.0	3	58.8270	A
147.5 4.5	3	52.3323	A
147.5 3.0	3	46.0337	A
120.0 4.5	3	40.4013	A
120.0 3.0	3	36.6673	A
147.5 6.0	3	30.1297	A

ANEXO 76: COMPARACIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS, FÍSICO-QUÍMICOS Y AROMÁTICOS DE LA HARINA DE LÚCUMA OBTENIDA MEDIANTE LOS MÉTODOS MÁS ADECUADOS DE SECADO EN CABINA Y POR ATOMIZACIÓN

Análisis de Varianza para Solubilidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	44.9645	2	22.4822	9.73	0.0131
Intra grupos	13.8575	6	2.30959		
Total (Corr.)	58.822	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Retención de Ácido hexanoico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Col_1	Casos	Media	Grupos Homogéneos
50 °C	3	47.15	X
147°C 6%	3	50.6167	XX
175°C 3%	3	52.5533	X

Análisis de Varianza para Higroscopicidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	112.612	2	56.3062	22.65	0.0016
Intra grupos	14.9143	6	2.48572		
Total (Corr.)	127.527	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Higroscopicidad

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	12.23	×
147°C 6%	3	17.1833	×
175°C 3%	3	20.8633	×

Análisis de Varianza para Densidad aparente

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0470109	2	0.0235054	11.03	0.0098
Intra grupos	0.0127913	6	0.00213189		
Total (Corr.)	0.0598022	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Densidad aparente

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
175°C 3%	3	0.466667	×
147°C 6%	3	0.486667	×
50 °C	3	0.629	×

Análisis de Varianza para Compuestos fenólicos

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.360659	2	0.180329	213.86	0.0000
Intra grupos	0.00505933	6	0.000843222		
Total (Corr.)	0.365718	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Compuestos fenólicos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	0.809333	×
147°C 6%	3	1.1	×
175°C 3%	3	1.29667	×

Tabla ANOVA para Capacidad antioxidante

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	358.486	2	179.243	49.26	0.0002
Intra grupos	21.8314	6	3.63857		
Total (Corr.)	380.318	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Capacidad antioxidante

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	13.8733	×
147°C 6%	3	24.0233	×
175°C 3%	3	29.0467	×

Tabla ANOVA para Carotenoides totales

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0144756	2	0.0072378	37.09	0.0004
Intra grupos	0.00117069	6	0.000195116		
Total (Corr.)	0.0156463	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Carotenoides totales

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
175°C 3%	3	0.136667	×
147°C 6%	3	0.146667	×
50 °C	3	0.2263	×

Tabla ANOVA para Ángulo Hue

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	25.4617	2	12.7308	17.57	0.0031
Intra grupos	4.34673	6	0.724456		
Total (Corr.)	29.8084	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Ángulo Hue

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147°C 6%	3	78.3633	×
50 °C	3	79.93	×
175°C 3%	3	82.4467	×

Tabla ANOVA para 2.3 Butanodiona

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1232.88	2	616.44	8.50	0.0178
Intra grupos	435.241	6	72.5401		
Total (Corr.)	1668.12	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para 2.3 Butanodiona

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	38.3113	×
147°C 6%	3	41.5477	×
175°C 3%	3	64.599	×

Tabla ANOVA para (E)-2 hexenal

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	201.308	2	100.654	3.32	0.1070
Intra grupos	181.902	6	30.317		
Total (Corr.)	383.21	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para (E)-2 hexenal

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	55.7877	×
147°C 6%	3	65.3127	×
175°C 3%	3	66.2607	×

Tabla ANOVA para Ácido acético

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1813.52	2	906.758	1.01	0.4203
Intra grupos	5412.98	6	902.163		
Total (Corr.)	7226.49	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Ácido acético

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147°C 6%	3	27.51	X
50 °C	3	48.996	X
175°C 3%	3	61.9283	X

Tabla ANOVA para Ácido butanoico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1370.73	2	685.365	1.91	0.2278
Intra grupos	2150.68	6	358.447		
Total (Corr.)	3521.41	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Ácido butanoico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147°C 6%	3	32.213	X
50 °C	3	37.4977	X
175°C 3%	3	60.6317	X

Tabla ANOVA para 3 Metil-1 butanol

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	735.219	2	367.609	1.40	0.3165
Intra grupos	1573.23	6	262.205		
Total (Corr.)	2308.45	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para 3 Metil-1 butanol

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147°C 6%	3	7.39	X
175°C 3%	3	24.7827	X
50 °C	3	27.9493	X

Tabla ANOVA para Ácido hexanoico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1283.04	2	641.521	0.68	0.5432
Intra grupos	5688.05	6	948.008		
Total (Corr.)	6971.09	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Ácido hexanoico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
50 °C	3	43.5213	X
175°C 3%	3	68.3267	X
147°C 6%	3	69.342	X

Tabla ANOVA para Ácido 3(E) Hexenoico

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1886.72	2	943.362	8.09	0.0198
Intra grupos	699.937	6	116.656		
Total (Corr.)	2586.66	8			

Pruebas de Múltiple Rangos para Ácido 3(E) Hexenoico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Col_1</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
147°C 6%	3	30.1297	X
50 °C	3	46.2867	XX
175°C 3%	3	65.55	X