



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

---

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN

**Determinación de la composición química,  
propiedades antioxidantes y físicas de la  
zarzamora (*Rubus sp.*) y del residuo de su  
procesamiento.**

**T E S I S**

Que para obtener el título de

**Licenciada en Nutrición**

**P R E S E N T A**

**PLN: Alma Aurora Delgadillo Ramírez**



Bajo la Dirección de

Dra. Esther Ramírez Moreno

Pachuca, Hgo., Noviembre del 2015.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN**



De acuerdo con el artículo 134 del Reglamento de Control Escolar vigente, el jurado de examen recepcional designado, autoriza para su impresión la Tesis titulada

**"Determinación de la composición química, propiedades antioxidantes y físicas de la zarzamora (*Rubus* sp.) y del residuo de su procesamiento."**

Que para obtener el Título de Licenciada de Nutrición sustenta la Pasante

**C. Alma Aurora Delgadillo Ramírez.**

**ATENTAMENTE  
Pachuca, Hidalgo, 24 de Septiembre del 2015  
"Amor, Orden y Progreso"**

PRESIDENTE:	DR. ERNESTO ALANÍS GARCÍA
SECRETARIO:	DR. LUIS DELGADO OLIVARES
PRIMER VOCAL:	DRA. NELLY DEL SOCORRO CRUZ CANSINO
SEGUNDO VOCAL:	DR. JOSÉ DE JESÚS MANRÍQUEZ TORRES
TERCER VOCAL:	DRA. ESTHER RAMÍREZ MORENO
PRIMER SUPLENTE:	DR. JOSÉ ALBERTO ARIZA ORTEGA
SEGUNDO SUPLENTE:	LN. CLAUDIA ELENA VALADEZ SERRANO.

J. Jesús Manríquez T.

---

**ÍNDICE**

<b>I. RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
1.1. DESCRIPCIÓN DEL FRUTO .....	3
1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL.....	5
1.2.1. Fibra dietética total .....	8
1.2.1.1. Efectos fisiológicos de la fibra dietética .....	9
1.3 COMPUESTOS BIOACTIVOS PRESENTES EN LA ZARZAMORA .....	11
1.3.1 Compuestos polifenólicos .....	11
1.3.1.1. Antocianinas .....	12
1.3.2. Vitaminas .....	14
1.4. UTILIZACIÓN DE LA ZARZAMORA .....	14
1.5. RESIDUO DEL PROCESAMIENTO DE FRUTAS .....	15
<b>2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>4. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>20</b>
4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
<b>5. DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>21</b>
5.1. MATERIA PRIMA.....	22
5.1.1. Obtención de las muestras.....	22
5.2. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL .....	23
5.2.1. Determinación de humedad .....	23
5.2.2. Determinación de proteína .....	24
5.2.3. Extracto etéreo .....	25
5.2.4. Determinación de cenizas .....	26
5.2.4.1. Análisis semicuantitativo del contenido de minerales .....	27

---

5.2.5. Determinación de carbohidratos.....	27
5.2.5.1 Determinación de fibra dietética total.....	27
5.2.5.2. Determinación de carbohidratos totales .....	29
5.3. DETERMINACIÓN DE ANTIOXIDANTES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE .....	29
5.3.1. Extracción de compuestos antioxidantes .....	29
5.3.2. Determinación de contenido de fenoles .....	30
5.3.3. Determinación de antocianinas .....	30
5.3.4. Determinación de ácido ascórbico .....	31
5.3.5. Capacidad antioxidante .....	32
5.3.5.1. Método ABTS .....	32
5.3.5.2. Método DPPH.....	33
5.4. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS .....	33
5.4.1. Determinación de color .....	33
5.4.2. Propiedades funcionales de la fibra .....	34
5.4.2.1. Capacidad de retención de agua .....	34
5.4.2.2. Capacidad de hinchamiento .....	35
5.4.3. Viscosidad.....	35
5.4.4. Microscopía electrónica de barrido.....	36
5.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	36
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>38</b>
6.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL.....	39
6.1.1. Humedad.....	39
6.1.2. Proteína y extracto etéreo .....	40
6.1.3. Cenizas .....	40
6.1.4. Carbohidratos.....	42
6.1.4.1. Fibra dietética total .....	42
6.1.5. Carbohidratos totales .....	43
6.2. ANTIOXIDANTES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE .....	44
6.2.1. Contenido de fenoles totales.....	44

6.2.2. Antocianinas.....	45
6.2.3. Ácido ascórbico.....	46
6.2.4. Capacidad antioxidante.....	47
6.3. VALOR NUTRICIONAL DEL RESIDUO DE ZARZAMORA.....	48
6.4. PROPIEDADES FÍSICAS .....	50
6.4.1. Color.....	50
6.4.2. Propiedades funcionales de la fibra .....	52
6.4.3. Viscosidad.....	54
6.4.4. Microscopio electrónico de barrido.....	54
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>8. REFERENCIAS.....</b>	<b>58</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Composición química proximal de la zarzamora.....	6
<b>Tabla 2.</b> Rendimiento del fruto de zarzamora .....	38
<b>Tabla 3.</b> Composición química proximal de la zarzamora y del residuo por cada 100 g bh .....	39
<b>Tabla 4.</b> Análisis semicuantitativo del contenido de minerales de la zarzamora y el residuo.....	41
<b>Tabla 5.</b> Antioxidantes y capacidad antioxidante de la zarzamora y del residuo por cada 100 g bh .....	45
<b>Tabla 6.</b> Composición química proximal del residuo de zarzamora por cada 100 g bh.....	48
<b>Tabla 7.</b> Color de la zarzamora y del residuo.....	51
<b>Tabla 8.</b> Propiedades funcionales de la fibra de zarzamora y del residuo	53

---

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Planta de zarzamora a) Flores de zarzamora, b) Frutos con diferente grado de maduración.....	3
<b>Figura 2.</b> Estados productores de zarzamora en México (SIAP, 2014). ....	5
<b>Figura 3.</b> Estructura de los principales ácidos orgánicos presentes en la zarzamora a) Ácido málico, b) Ácido cítrico. ....	7
<b>Figura 4.</b> Estructura química de los compuestos fenolicos a) Benceno, b) Fenol. ....	12
<b>Figura 5.</b> Estructura química de las principales antocianidinas. ....	13
<b>Figura 6.</b> Diagrama del diseño metodológico. ....	21
<b>Figura 7.</b> Fotografía de las muestras de estudio a) Zarzamora, b) Residuo. ....	22
<b>Figura 8.</b> Fotografía demuestras de estudio liofilizadas a) Zarzamora, b) Residuo. ....	23
<b>Figura 9.</b> Esquema de parámetros de color por $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ , de a) Zarzamora, b) Residuo. ....	52
<b>Figura 10.</b> Microscopía electrónica de barrido de la zarzamora a) 1000X, b) 2000 X.....	55
<b>Figura 11.</b> Microscopía electrónica de barrido del residuo a) 1000X, b) 2000X.....	55

**ABREVIATURAS****AA:** Ácido ascórbico**ABTS:** 2, 2'-azinobis-3-etil-benzo-tiazolin-6-ácido sulfónico**AG:** Ácido gálico**AGCC:** Ácidos grasos de cadena corta**ANOVA:** Análisis de varianza**AOAC:** Association of Official Analytical Chemist**bh:** Base húmeda**CFT:** Contenido de fenoles totales**CH:** Capacidad de hinchamiento**COMTRADE:** Base de datos sobre comercio de productos de la División de Estadísticas de la ONU**CRA:** Capacidad de retención de agua**CY3GL:** Cianidin -3- glucósido**DCPI:** 2,6- diclorofenolindofenol**DPPH:** 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo**FAO:** Food and Agriculture Organization**FDI:** Fibra dietética insoluble**FDS:** Fibra dietética soluble**FDT:** Fibra dietética total**IDR:** Ingestas Diarias Recomendadas**MEB:** Microscopía Electrónica de Barrido**OMS:** Organización Mundial de la Salud**rpm:** Revoluciones por minuto**SAGARPA:** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación**SIAP:** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera**Trolox:** Carboxilo 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo**USDA:** United States Department of Agriculture

## I. RESUMEN

La zarzamora (*Rubus sp.*) es un fruto caracterizado por su alto contenido de antocianinas, que le otorgan color y sabor, además de una alta capacidad antioxidante y beneficios a la salud. Debido a que este fruto presenta una corta vida de anaquel (alrededor de 2 días), un alto porcentaje del producto es procesado, generando hasta un 20 % de residuos. Diferentes estudios en residuos de frutas, han demostrado que estos aún contienen nutrientes y compuestos bioactivos, que pudieran ser aprovechados en lugar de ser considerados como desechos. El objetivo de este estudio fue la determinación de la composición química proximal, propiedades antioxidantes y físicas del fruto de zarzamora, y del residuo obtenido de su procesamiento, para la valorización de este subproducto. El fruto de zarzamora presentó una composición química proximal característica de los alimentos vegetales, mientras que el residuo presentó un mayor contenido de fibra dietética (12.4 g/100 g), contenido de fenoles totales (721.2 mg equivalentes de ácido gálico/100 g), antocianinas (76.6 mg de cianidin -3- glucósido/100 g), ácido ascórbico (9.2 mg equivalentes de ácido ascórbico/100 g) y capacidad antioxidante (133 - 5327  $\mu$ mol equivalentes de Trolox/100 g). Estos valores encontrados en el residuo, fueron entre 50 y 100 % mas altos que lo presentado en el fruto. El alto contenido de fibra en el residuo ocasionó una mayor capacidad de retención de agua y capacidad de hinchamiento. Sin embargo, el residuo presentó menor intensidad del color y menor viscosidad que el fruto entero. El contenido de fibra y compuestos bioactivos, propiedades antioxidantes y de hidratación del residuo del procesamiento de la zarzamora fue mayor en comparación con el fruto sin procesar, aportando a este residuo una gran importancia como ingrediente funcional en la industria alimentaria.

**Palabras clave:** zarzamora, residuo, composición química proximal, antioxidantes, capacidad antioxidante y propiedades físicas.

## II. ABSTRACT

Blackberry (*Rubus sp.*) is a fruit characterized by its high content of anthocyanins, which contribute with color and flavor, in addition a high antioxidant capacity and health benefits. Due to this fruit had a short shelf life (around of 2 days), a high percentage of the product is processed, generating until 20 % of residues. Different studies in fruit residues, have showed that these containing nutrients and bioactive compounds yet, that they could be used instead they might be considered as waste. The aim of this study was the determination of chemical composition, antioxidant and physical properties of blackberry fruit, and residue obtained juice processing, for the revalorization of this byproduct. Blackberry fruit presented a proximal chemical composition characteristic of vegetable foods, while the residue presented a higher content of dietetic fiber (12.4 g/100 g), total phenolic content (721.2 mg gallic acid equivalents/100 g), anthocyanins (76.6 mg of cyanidin 3 glucoside/100 g), ascorbic acid (9.2 mg of ascorbic acid equivalents/100 g) and antioxidant capacity (133 - 5327 micromoles Trolox equivalents/100 g). These values found in the residue, were between 50 and 100 % higher than in the fruit. The higher content of fiber in the residue caused a higher water retention capacity and swelling capacity. However, the residue showed lower color intensity and lower viscosity that the whole fruit. The fiber content and bioactive compounds, antioxidant and hydration properties of the residue of the processing of blackberry were higher in comparison with the fruit without processing, providing to this residue great importance as functional ingredient to the food industry.

**Keywords:** blackberry, residue, proximal chemical composition, antioxidants, antioxidant capacity and physical properties.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Descripción del fruto

La zarzamora cuyo nombre científico es *Rubus sp.* pertenece a la familia de las *Rosáceas* (Argote, 2012). Este fruto, al igual que la frambuesa, fresa y el arándano pertenecen al grupo de las llamadas frutillas o “*berries*” (Rincón *et al.*, 2015), las cuales son consideradas cultivos de alto valor comercial (Cuevas, 2013), apreciadas por su característico color, aroma, sabor y textura suave que presentan. Además estos frutos son valorados por sus propiedades antioxidantes debido a la presencia de pigmentos naturales (Cerón, 2008).

La planta de zarzamora es un arbusto sarmentoso de ramas arqueadas y espinosas, con hojas compuestas de 3 ó 5 folíolos elípticos y de borde aserrado, dispuestos de forma palmeada. Sus flores crecen en racimos compuestos con 5 sépalos y 5 pétalos blancos o rosados (Figura 1a). Su fruto es una polidrupa rojiza al principio de su maduración y negra brillante cuando madura, tal como se muestra en la figura 1b. La fruta puede llegar a pesar de 3 a 12 gramos dependiendo de la variedad (Kaume *et al.*, 2011) y está compuesta por pequeños glóbulos que contienen en su interior una semilla diminuta (Cuevas, 2013).



**Figura 1.** Planta de zarzamora a) Flores de zarzamora, b) Frutos con diferente grado de maduración.

El cultivo de zarzamora prospera en climas templados a semicálidos, en suelos arcillo - arenosos, ricos en materia orgánica con un rango de pH de 5.5 a 6.5, requiriendo una temperatura máxima de 35 °C y una mínima de 3.3 °C (Argote, 2012).

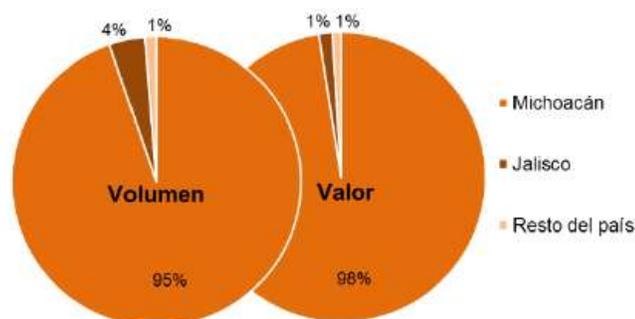
La zarzamora es una especie originaria de América del Norte (Parra *et al.*, 1999). Según la base de datos sobre comercio de productos de la División de Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas (COMTRADE, 2014), México se ubica como el principal exportador de zarzamoras frescas del mundo, produciendo el 30 % del total de la producción mundial (Cerón, 2008; Morales, 2009; Kaume *et al.*, 2011; Rincón *et al.*, 2015).

La producción de zarzamora en México ha tenido un importante crecimiento en los últimos quince años, ya que de acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), nuestro país ha pasado de producir una superficie de 1,200 hectáreas en el año 2000, a una superficie diez veces mayor en al año 2014 (SIAP, 2014). El 95 % del volumen y 98 % del valor generado por la producción anual de zarzamora en México, corresponde al estado de Michoacán debido a las condiciones climáticas, de suelo y agua que prevalecen en la región (Ibarra *et al.*, 2013). Jalisco participa con el 4 % del volumen y 1 % del valor, además de otros diez estados que producen el 1 % restante (Figura 2), entre los cuales se encuentran el estado de Hidalgo, Colima, Distrito Federal, Querétaro, Nayarit y Guanajuato (Morales, 2009; SIAP, 2014).

En el estado de Hidalgo, Tulancingo, Huichapan, Huejutla, Zacualtipán, Pachuca y Mixquiahuala conforman la mayor producción de este fruto. Estos dos últimos tuvieron la mayor superficie cosechada (29.6 % y 19.9 % respectivamente) durante los últimos años (SIAP, 2014).

La producción de zarzamora en México tiene dos destinos: el 30 % representa el consumo en fresco y el 70 % es utilizado como materia prima para la elaboración de

mermeladas, jugos, dulces, helados, yogurt, ates, licores y mosto de fruta, entre otros y para su exportación (Valencia y Guevara, 2013; Cervantes, 2015).



**Figura 2.** Estados productores de zarzamora en México (SIAP, 2014).

De acuerdo a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2008), el consumo *per cápita* de zarzamora en México es de 757 g. Siendo un consumo bajo comparado con otros frutos de mayor consumo en el país, como lo son la manzana y el plátano, cuyo consumo *per cápita* anual es de 19.7 y 8.5 kg respectivamente (SAGARPA, 2008; García *et al.*, 2013).

## 1.2. Composición química proximal

La composición nutrimental del fruto de zarzamora depende de la variedad, lugar de cultivo, condiciones de crecimiento, fase de maduración, cosecha y condiciones de almacenamiento (Kaume *et al.*, 2011), por lo que se puede encontrar una variación en la composición química proximal del fruto. En la tabla 1 se muestra la composición química proximal de la zarzamora, donde se puede observar que es un fruto con alto contenido de agua, con alrededor del 85 % de su peso total (Rodríguez *et al.*, 2010), por lo que tiende a presentar más jugo que pulpa. Sin embargo, es un fruto con bajo aporte de energía, ya que 100 g de fruto otorgan alrededor de 50 Kcal. Los componentes minoritarios del fruto de zarzamora están representados por proteína, extracto etéreo y cenizas.

**Tabla 1.** Composición química proximal de la zarzamora.

<b>Nutriente</b>	<b>Contenido en 100 g<sup>a</sup></b>	<b>IDR<sup>b,c</sup></b>	<b>Aporte (%)</b>
Humedad (%)	85.6 - 88.2	-	-
Energía (Kcal)	43 - 59	1,500 - 2,000 Kcal	2.1 - 3.9
Proteína (g)	0.7 - 1.4	1 g/Kg	1.3 - 2.6*
Extracto etéreo (g)	0.4 - 0.6	-	-
Cenizas (g)	0.3 - 0.5	-	-
Carbohidratos (g)	9.6 - 16	-	-
Glucosa (g)	2.3	-	-
Fructosa (g)	2.4	-	-
Sacarosa (g)	0.07	-	-
Fibra (g)	2.7 - 5.3	25 - 30	9 - 21.2
Vitamina A (µg)	11	568 - 1,000	1.1 - 1.9
Vitamina C (mg)	21	60 - 100	21 - 35
Vitamina E (mg)	1.1	10	11
Riboflavina (mg)	0.02 - 0.06	1.7	1.1 - 3.5
Niacina (mg)	0.6	11 - 19	3.1 - 5.4
Hierro (mg)	0.5 - 0.6	10 - 15	3.3 - 6
Potasio (mg)	162 - 196	3,500	4.6 - 5.6
Zinc (mg)	0.2 - 0.5	10 - 15	1.3 - 5
Manganeso (mg)	0.6	2 - 5	12 - 30

<sup>a</sup>U.S.Department of Agriculture (USDA) national nutrient database for standard reference. En: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>,2010. <sup>b</sup>Ingestas diarias recomendadas según Bourges *et al.*, 2009.

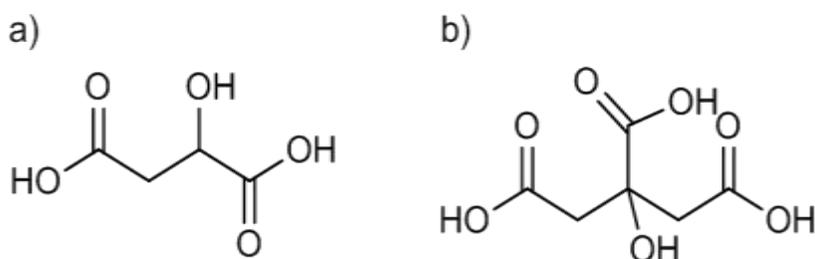
<sup>c</sup>IDR por el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán de energía, proteína, vitaminas y minerales para la población mexicana. En: Tablas de composición de alimentos mexicanos. México, D.F, 2000.

\*Considerando un peso promedio de 52 Kg. -Sin recomendación, sin aporte.

Este fruto tiene un alto contenido de carbohidratos, caracterizado por azúcares como la glucosa y fructosa y en menor proporción sacarosa (Fan - Chiang y Wrolstad, 2010; Kaume *et al.*, 2011), los cuales afectan directamente su madurez y calidad sensorial. Dentro del contenido de carbohidratos, el fruto de zarzamora, también cuenta con un importante aporte de fibra dietética total (FDT) (5 g/100 g de fruta) (Fan - Chiang y Wrolstad, 2010).

La zarzamora también es fuente de vitaminas y minerales, tal como se muestra en la tabla 1, este fruto contiene en mayor proporción vitamina A y C, y en mayor proporción vitamina E. De acuerdo a las ingestas diarias recomendadas (IDR), el consumo de 100 g de fruto (13 zarzamoras aproximadamente), cubre hasta un 35 % de vitamina C y el 11 % de vitamina E. Además presenta vitaminas del complejo B, y minerales como el hierro, potasio, zinc y manganeso (Morales *et al.*, 2010).

El fruto de zarzamora contiene ácidos orgánicos, característica de sus propiedades sensoriales, destacando el ácido málico y el ácido cítrico (Kaume *et al.*, 2011), cuyas estructuras se muestran en la figura 3. El fruto de zarzamora también posee, en menor proporción ácido láctico, succínico, oxálico y salicílico (Morales *et al.*, 2010). A otros ácidos orgánicos presentes en el fruto de zarzamora como el ácido clorogénico, ferúlico y ursólico, se les ha atribuido propiedades anticancerígenas (Cajuste *et al.*, 2000; Rieger, 2006).



**Figura 3.** Estructura de los principales ácidos orgánicos presentes en la zarzamora  
a) Ácido málico, b) Ácido cítrico.

### 1.2.1. Fibra dietética total

La fibra dietética total (FDT) está representada por sustancias de origen vegetal, hidratos de carbono complejos, o derivados de los mismos (celulosa, hemicelulosas, pectinas, gomas, mucílagos y otros polisacáridos) además de lignina, que forman la pared celular de los productos vegetales. Estos componentes tienen la característica de ser resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, pudiendo llegar intactas al colon, donde puede haber una fermentación completa o parcial por parte de la flora colónica (Escudero y González, 2006; Raghavendra *et al.*, 2006; Guzmán, 2008). Los principales productos de dicha fermentación son los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), principalmente acetato, propionato y butirato; además de gases (hidrógeno, anhídrido carbónico y metano) y energía (Escudero y González, 2006).

Los componentes de la fibra dietética determinan su grado de solubilidad en agua, por lo cual se clasifica en:

- Fibra dietética soluble (FDS), esta fracción está compuesta por pectinas, gomas ( $\beta$ -glucanos y pentosanos), mucílagos y hemicelulosa soluble. Estos componentes ocasionan que la fibra en contacto con agua forme un retículo donde queda atrapada, originándose soluciones de gran viscosidad.
- Fibra dietética insoluble (FDI), constituida por celulosa, hemicelulosa insoluble y lignina (Meyer y Tunland, 2001; García *et al.*, 2002). Esta fracción es capaz de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad.

Estas características de la fibra ocasionan que los alimentos o productos que la contienen pudieran presentar ciertas propiedades funcionales, de las cuales dependen sus características físicas y bondades fisiológicas y/o tecnológicas. La interacción que se lleva a cabo entre las fibras y el agua ha sido ampliamente estudiada, como la capacidad de hidratación.

Las propiedades de hidratación más conocidas son la capacidad de retención de agua (CRA), la capacidad de hinchamiento (CH) (Chau y Huang, 2003, 2004; Wong y Cheung, 2005; Yoshimoto *et al.*, 2005; Raghavendra *et al.*, 2006), solubilidad, viscosidad, formación de geles y la capacidad de unir moléculas orgánicas o minerales (Tunland y Meyer, 2002).

- La CRA se refiere a la capacidad de la fibra para retener agua, de esta manera aumenta el tamaño del bolo alimenticio, mejora el flujo intestinal e incrementa el volumen y peso de las heces (Zúñiga y Cecilia, 2005; Ramírez y Pacheco, 2009; Matos y Chambilla - Mamani, 2010), por lo tanto se trata de una propiedad relacionada con el contenido de FDS.
- La CH provoca que la FDT se hinche en el estómago, causando un aumento en la viscosidad del contenido estomacal, lo que incrementa la sensación de saciedad y dificulta la absorción de nutrientes (McDougall *et al.*, 1996; Goñi y Martín - Carrón, 1998).

#### **1.2.1.1. Efectos fisiológicos de la fibra dietética**

La formación de soluciones viscosas de la fibra dietética de los alimentos, juega un papel importante en las funciones del sistema digestivo, desde la masticación hasta la evacuación de las heces (Escudero y González, 2006), previniendo enfermedades crónico degenerativas, cardiovasculares, cancerígenas y trastornos intestinales (Pak, 2000; Raghavendra *et al.*, 2006).

A nivel de estómago, la fibra soluble enlentece el vaciamiento gástrico, aumentando la distensión, prolongando la sensación de saciedad como consecuencia del incremento de la viscosidad (Escudero y González, 2006). Por lo tanto, esta característica es útil para el tratamiento y prevención del sobrepeso y obesidad (Goñi y Martín - Carrón, 1998).

En intestino delgado, estas soluciones viscosas incrementan el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, lo que provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos (Cherbut, 1998). Lo anterior, es benéfico para el control de enfermedades como diabetes mellitus no insulino-dependiente e hiperlipidemias. Asimismo, se producirá una disminución en la absorción de ácidos biliares, disminuyendo los niveles de colesterol, al utilizarse éste en la síntesis de nuevos ácidos biliares. De este modo se reduce el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Escudero y González, 2006).

Finalmente, en el colon la fibra dietética, es fermentada formando ácidos grasos de cadena corta. El 95 % de estos son absorbidos en el lumen colónico. El butirato es utilizado por las células epiteliales colónicas, y se ha encontrado que actúa como agente protector contra la tumorigénesis. Mientras que el propionato es metabolizado en el hígado, actuando como precursor en la gluconeogénesis y la lipogénesis y está relacionado con efectos hipocolesterolémicos (López y Marcos, 1999). El acetato es metabolizado en glutamina que alcanza el intestino delgado, donde es considerado el principal fuel respiratorio de esta parte del tracto digestivo (Escudero y González, 2006). El consumo alto de fibra soluble e insoluble ocasiona un incremento del volumen de la masa fecal y el consiguiente estiramiento de la pared intestinal, estimulando los mecanismos receptores que producen los reflejos de propulsión y evacuación. Estos efectos están relacionados con la prevención y tratamiento del estreñimiento y de trastornos intestinales, como constipación, diverticulitis y hemorroides (Escudero y González, 2006).

Además, la fibra dietética especialmente la proveniente de frutas y verduras es acarreadora de compuestos bioactivos. Transporta una cantidad significativa de polifenoles y carotenoides ligados a su matriz a través de todo el tracto gastrointestinal humano (Goñi y Hervert - Hernández, 2011).

### 1.3 Compuestos bioactivos presentes en la zarzamora

Además de macro y micronutrientes, en los alimentos se han encontrado otro tipo de compuestos, que no son denominados “nutrientes”. Sin embargo, dichos compuestos son potencialmente bioactivos (Cervantes, 2015). Estos compuestos de acuerdo a su naturaleza bioquímica, se clasifican de la siguiente manera (Hall, 2001; Wildman, 2001):

- Ácidos grasos y lípidos estructurales
- Aminoácidos y proteínas
- Carbohidratos y derivados
- Microorganismos
- Minerales
- Isoprenoides
- Polifenoles
- Vitaminas

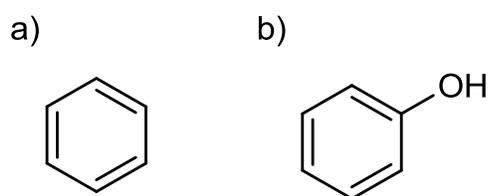
Diversos estudios han revelado la presencia de compuestos bioactivos en la zarzamora, caracterizados por una alta capacidad antioxidante (Tiwari *et al.*, 2009b; Jiménez *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2012; Ivanovic *et al.*, 2014). Entre los compuestos bioactivos presentes en la zarzamora, se encuentra el contenido de fenoles totales (CFT) (Hager *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2012).

#### 1.3.1 Contenido de fenoles totales

El fruto de zarzamora se caracteriza por su alto contenido de fenoles totales, que además de conferirle su color y sabor característico, le aportan una alta capacidad antioxidante (Cajuste *et al.*, 2000; Rieger, 2006; Pantelidis *et al.*, 2007; Chávez, 2011), reconocida por su beneficio a la salud (Kaume *et al.*, 2011).

Dichos fenoles se encuentran principalmente en el exocarpio y la semilla del fruto de zarzamora (Valencia y Guevara, 2013). La zarzamora, presenta mayor capacidad antioxidante que otros frutos como la grosella y el arándano (Lee *et al.*, 2012).

Estructuralmente, los fenoles totales son derivados del benceno, con uno o más grupos hidroxilo sustituyentes, tal como se observa en la figura 4 (Han *et al.*, 2007; Wang y Stoner, 2008). Estos compuestos presentan en su estructura química un número variable de fenoles con propiedades de quelación del hierro y otros metales de transición, de esta manera atrapan radicales libres (Valencia y Guevara, 2013), producidos por agentes oxidantes, como los rayos ultravioletas, la polución ambiental, sustancias químicas presentes en los alimentos, etc. (Martínez - Flóres *et al.*, 2002).



**Figura 4.** Estructura química de los compuestos fenólicos a) Benceno, b) Fenol.

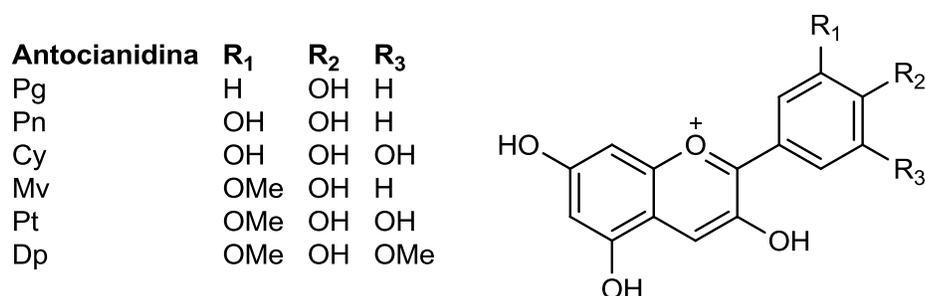
Los fenoles totales se clasifican en: ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos y difluoroilmetanos (Han *et al.*, 2007; Cuevas, 2013). Los flavonoides son el grupo de polifenoles más estudiado por su asociación con la actividad antioxidante (Hassimotto *et al.*, 2008). Su estructura básica (flaván) consta de dos grupos fenilo (A y B), unidos por un puente de tres carbonos que forman un anillo heterocíclico oxigenado (anillo C). En función de los grados de oxidación e insaturación del anillo heterocíclico, se pueden diferenciar varias clases de flavonoides (Robards *et al.*, 1999), destacando las antocianinas.

### 1.3.1.1. Antocianinas

Las antocianinas son colorantes naturales, que se encuentran acumuladas en las vacuolas de los frutos, son responsables de la pigmentación que va de rojo intenso a

colores azules o púrpura de frutas y verduras (Sellappan *et al.*, 2002; Tiwari *et al.*, 2009c; Jiménez *et al.*, 2010; Ivanovic *et al.*, 2014).

Químicamente las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace  $\beta$ -glucosídico. La estructura química básica de estas agliconas es el ión flavilio, que consta de dos grupos aromáticos: un benzopirilio (A) y un anillo fenólico (B); el flavilio normalmente funciona como un catión (Badui, 2006). En la naturaleza, se han identificado más de veinte antocianidinas, sin embargo, en los alimentos las más comunes son la pelargonidina (Pg), peonidina (Pn), cianidina (Cy), malvidina (Mv), petunidina (Pt) y delfinidina (Dp) (Figura 5) (Wu y Prior, 2005; Tiwari *et al.*, 2009c; Dubrovič *et al.*, 2011).



**Figura 5.** Estructura química de las principales antocianidinas.

Las principales antocianinas presentes en la zarzamora son, cianidin-3-glucósido (Cy3GI) con un 98 % (Cuevas, 2013).

Diferentes estudios han establecido a estos pigmentos con alto potencial antioxidante, estando relacionados con los efectos anticancerígenos, además de mejorar la agudeza visual y el comportamiento cognitivo, así como protección contra la radiación solar (Sellappan *et al.*, 2002; Wu y Prior, 2005).

Las antocianinas, poseen otras funciones como son: la atracción de polinizadores (para la posterior dispersión de semillas), protección del fruto (contra los efectos de la radiación ultravioleta) y contra la contaminación viral y microbiana (Garzón, 2008).

### 1.3.2. Vitaminas

Las vitaminas presentes en la zarzamora que también aportan actividad antioxidante, son la vitamina A, C y E. Por lo tanto, la zarzamora es un fruto que puede ser utilizado en la prevención de enfermedades circulatorias por su actividad antioxidante (Valencia y Guevara, 2013).

La vitamina A, encontrada en la naturaleza como  $\beta$ -caroteno (precursor de dicha vitamina), posee una larga cadena de dobles enlaces que le confieren su capacidad antioxidante. El ácido ascórbico (AA) o vitamina C, se encuentra en forma de ácido *L*-ascórbico y ácido dehidroascórbico en productos de origen vegetal, y es utilizado en alimentos procesados como antioxidante, ya que ejerce un efecto protector contra el daño oxidativo. La vitamina E, es la principal vitamina liposoluble con capacidad antioxidante, compuesta por  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, y  $\delta$ - tocoferoles y tocotrienoles, siendo el  $\alpha$ -tocoferol el que ejerce un 90 % de la actividad antioxidante de la vitamina E endógena en humanos (Jonhson, 2001).

### 1.4. Utilización de la zarzamora

La zarzamora es un fruto no climatérico, por lo cual es cosechado de forma manual, en el momento en el que ha completado su madurez. El color, tamaño y la consistencia del fruto son los factores que determinan su punto ideal de cosecha. Una vez cosechado el fruto, éste es clasificado de la siguiente forma:

- Primera clase: zarzamoras de una misma variedad, brillantes y bien coloreadas y desarrolladas, no blandas ni con un grado de maduración avanzado.
- Segunda clase: zarzamoras de una misma variedad que presentan daños.

Los frutos son colocados dentro de recipientes para su manejo, depositándose 12 recipientes en charolas de cartón. Cuando las cajas están llenas se trasladan al área

de empaque de la huerta donde se pre-enfriara para darle mayor vida post-cosecha (Paleta, 2012). De acuerdo a Infante y Trueba (2014), bajo condiciones adecuadas de almacenamiento la zarzamora puede tener una vida de anaquel de entre 2 y 14 días.

Teniendo en cuenta que las zarzamoras son muy perecederas, se han establecido múltiples tecnologías para el procesamiento de este fruto en varios productos para su preservación a largo plazo (Sousa *et al.*, 2007; Patras *et al.*, 2009), siendo la mermelada el producto más popular (Amakura *et al.*, 2000; Savikin *et al.*, 2009). Otro de los productos que permiten aprovechar a la zarzamora es la extracción de su contenido de antocianinas como colorantes, debido a su capacidad para impartir colores atractivos (De Pascual y Sánchez, 2008) y como productos bioactivos, por su acción inhibidora de trombosis y antiinflamatoria (Lako *et al.*, 2007; Garzón, 2008). El fruto de zarzamora también es procesado con la finalidad de obtener jugo, siendo utilizado como bebida en combinación con otros frutos (zarzamora - manzana, zarzamora - frambuesa). De hecho, el consumo de estos productos obtenidos a partir de la zarzamora, es cada vez más promovido debido a sus múltiples beneficios nutricionales y de salud (Zhang *et al.*, 2004; Lako *et al.*, 2007; Garzón, 2008).

### **1.5. Residuo del procesamiento de frutas**

En la actualidad el alto desarrollo de la industria alimentaria conlleva a la generación de residuos provenientes del procesamiento de frutas (Milena *et al.*, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2009). Refiriéndose el término “residuo” o “subproducto” a los desechos de alimentos que podrían ser utilizables (Sánchez - Zapata *et al.*, 2009).

La industrialización de frutos genera alrededor de 800, 000 toneladas por año de residuo a nivel mundial (Ayala - Zavala *et al.*, 2010). Dichos residuos están compuestos principalmente por pieles, semillas, tallos, hojas y pulpa inutilizable que normalmente se desechan (Ajila *et al.*, 2010).

La cantidad de residuo del procesamiento de frutos, podría representar un 50 % en el caso de algunos cítricos, alrededor del 40 % de mango, papaya y piña y para otros frutos como manzana y guayaba su residuo es de 15 a 20 % (Ajila *et al.*, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2009). En el procesamiento de jugo de zarzamora, se obtiene un residuo del 20 %, el cual está constituido por semillas y remanentes de piel y pulpa (Ignat *et al.*, 2011).

Los residuos del procesamiento de frutas, pueden ser utilizados en alimentación animal, abonos, obtención de biogás, en la extracción de aceites esenciales, pectinas, flavonoides, entre otros (Milena *et al.*, 2008). En algunos países desarrollados la industria procesadora de cítricos emplea un alto porcentaje de sus residuos de frutas para la manufactura de una serie de subproductos, ceras, resinas, celulosa, fertilizantes, ácidos acéticos, cítrico y láctico (Torres *et al.*, 1995).

Algunos otros autores (Tamayo y Bermúdez, 1998; Widmer, 2003), refieren que estos residuos también pueden ser deshidratados para su conservación y posterior uso, permitiendo así aprovechar entre otras cosas un alto contenido de fibra dietética. Esta fibra dietética puede ser utilizada en la preparación de alimentos funcionales o para la obtención de productos farmacéuticos.

Además, de contribuir a disminuir los desechos sólidos resultantes del proceso, con el consecuente mejoramiento del medio ambiente (Gutiérrez *et al.*, 2009).

Existe una tendencia en encontrar nuevas fuentes de ingredientes funcionales, con la utilización de subproductos o residuos de productos de origen vegetal, los cuales tradicionalmente han sido infravalorados (Rodríguez *et al.*, 2006).

La zarzamora es una fruta ampliamente conocida por contener cantidades importantes de compuestos fenólicos, antocianinas, flavonoles, ácido clorogénico y procianidinas. Estos compuestos han sido comprobados como antioxidantes con una importante actividad biológica, y con ello beneficios para la salud humana (Moure *et al.*, 2001). Y como se ha mencionado anteriormente, del procesamiento de este fruto se genera

alrededor de un 20 % de residuo. Por tanto, la extracción de componentes del residuo de zarzamora, es de gran interés para agregar valor a esta parte del fruto que generalmente se desecha (Pasquel *et al.*, 2014).

## 1 2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2 Las frutas han sido siempre parte importante de la alimentación humana, sin embargo,  
3 en los últimos años la demanda de fruta fresca ha permanecido relativamente estable,  
4 mientras que la demanda de fruta procesada se ha duplicado. El procesamiento de los  
5 productos de origen vegetal genera una gran cantidad de residuos, que ocasionan  
6 contaminación ambiental sino son aprovechados y manejados adecuadamente.

7 La zarzamora es un fruto con una alta perecibilidad, por lo que casi el 70 % del  
8 producto es procesado, para obtener principalmente jugos y mermeladas, entre otros  
9 productos. Diferentes estudios indican que del procesamiento del jugo de este fruto se  
10 obtiene, como subproducto hasta un 20 % de residuo que incluye piel, semillas y  
11 remanentes de pulpa. Hasta el momento existe muy poca información sobre la  
12 caracterización de este residuo. Algunos autores mencionan que este residuo presenta  
13 propiedades antioxidantes, sin embargo su composición química proximal y las  
14 propiedades físicas del residuo, aún son desconocidas. Al ser la zarzamora un fruto  
15 con alto contenido de compuestos bioactivos, como lo son las antocianinas, con alta  
16 actividad antioxidante, pero sobre todo, por tratarse de un fruto producido en México,  
17 incluso en algunos lugares del estado de Hidalgo de manera regional, surge el interés  
18 por caracterizar el residuo obtenido del procesamiento del jugo de zarzamora. En el  
19 cual se espera encontrar importantes características nutricionales.

### 1 3. JUSTIFICACIÓN

2 En los últimos años, el interés por el consumo de alimentos vegetales y el uso de  
3 extractos naturales como una alternativa para prevenir diversas enfermedades  
4 cardiovasculares, cancerígenas y enfermedades neurológicas se ha incrementado. De  
5 igual forma, el consumo de alimentos procesados también ha ido en aumento  
6 generando residuos que generalmente no son aprovechados. Es por ello, que este  
7 estudio plantea el conocer las propiedades nutricionales del residuo de zarzamora, de  
8 tal forma que pueda ser aprovechado como un ingrediente funcional, por la presencia  
9 de sus compuestos bioactivos en beneficio de la salud humana. Aunado a esto,  
10 también contribuiría a disminuir la gran cantidad de desechos de la industria  
11 procesadora de frutas, causantes de contaminación ambiental en aguas, suelos y  
12 atmósfera, que además ponen en peligro la salud humana y el nicho ecológico de  
13 muchas especies animales y vegetales.

14 Por tanto, un mayor conocimiento de las propiedades que puede aportar el residuo del  
15 procesamiento de la zarzamora, le aportará un valor agregado a este subproducto  
16 permitiendo la revalorización del fruto y poder ser utilizado por la industria alimentaria.

## 1 **4. OBJETIVO GENERAL**

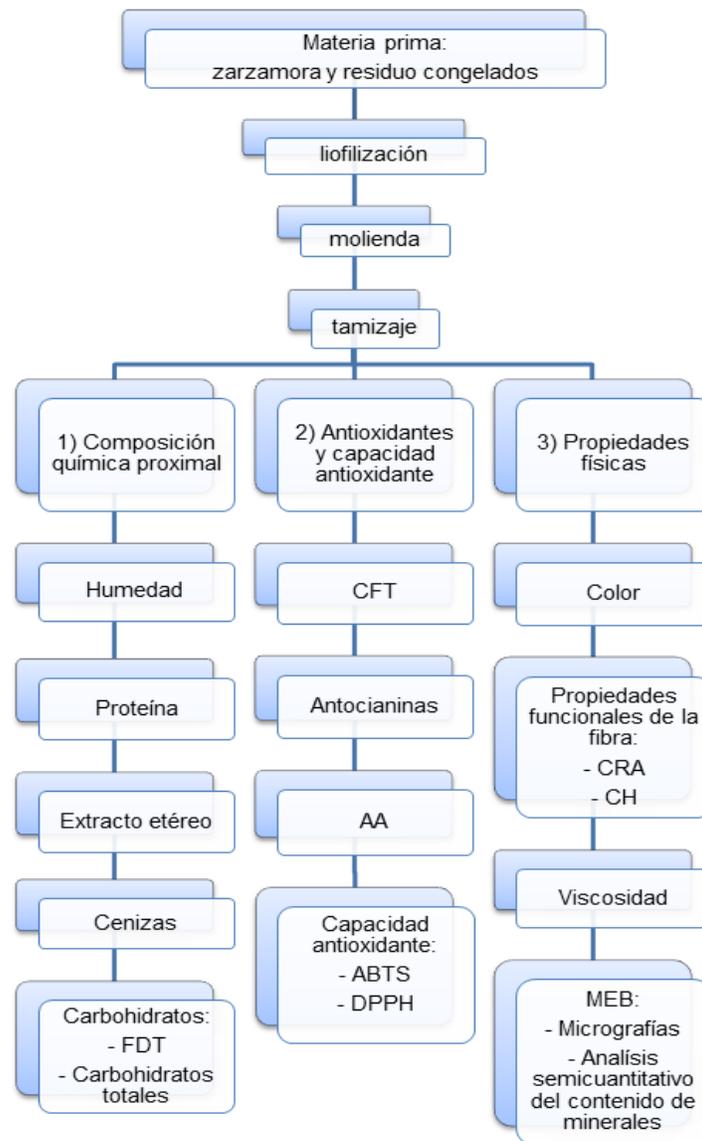
2 Determinar la composición química proximal, propiedades antioxidantes y físicas del  
3 fruto de zarzamora y del residuo obtenido del procesamiento de jugo, para la  
4 valorización de este subproducto.

### 5 **4.1. Objetivos específicos**

- 6 ➤ Cuantificar el análisis químico proximal (humedad, proteína, extracto etéreo,  
7 cenizas y carbohidratos totales) del fruto de zarzamora y de su residuo.
- 8 ➤ Valorar los antioxidantes (contenido de fenoles totales, antocianinas, y ácido  
9 ascórbico) y capacidad antioxidante por los métodos de ABTS y DPPH del fruto  
10 de zarzamora y de su residuo.
- 11 ➤ Determinar las propiedades físicas (color, propiedades funcionales de la fibra,  
12 viscosidad y microscopía electrónica de barrido (MEB)) del fruto de zarzamora  
13 y de su residuo.  
14

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico del presente trabajo se muestra en la figura 6. El estudio consistió en 3 partes, las cuales fueron realizadas en la muestra del fruto de zarzamora sin procesar y en la muestra de residuo. 1) Composición química proximal, 2) Determinación de antioxidantes y capacidad antioxidante, 3) Determinación de propiedades físicas.

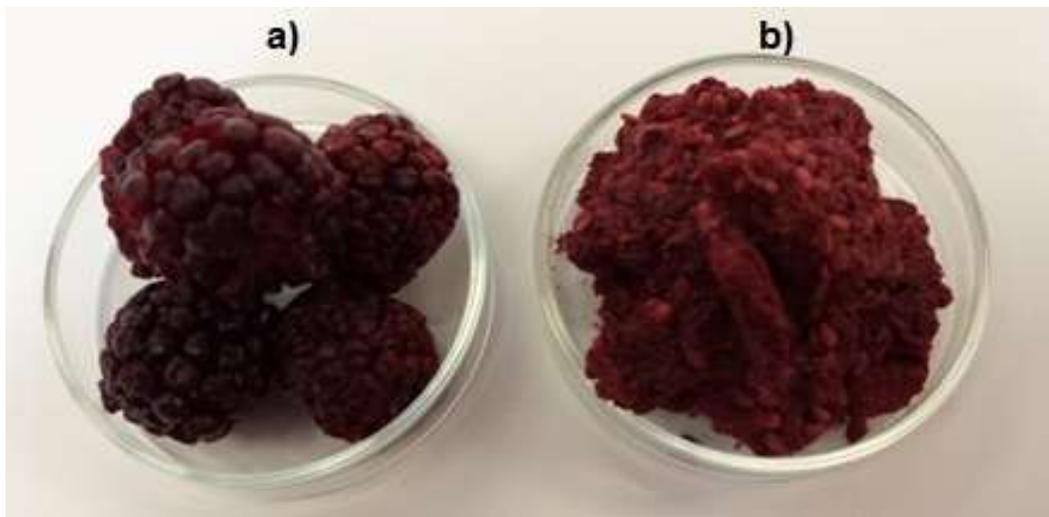


**Figura 6.** Diagrama del diseño metodológico.

## 5.1. Materia prima

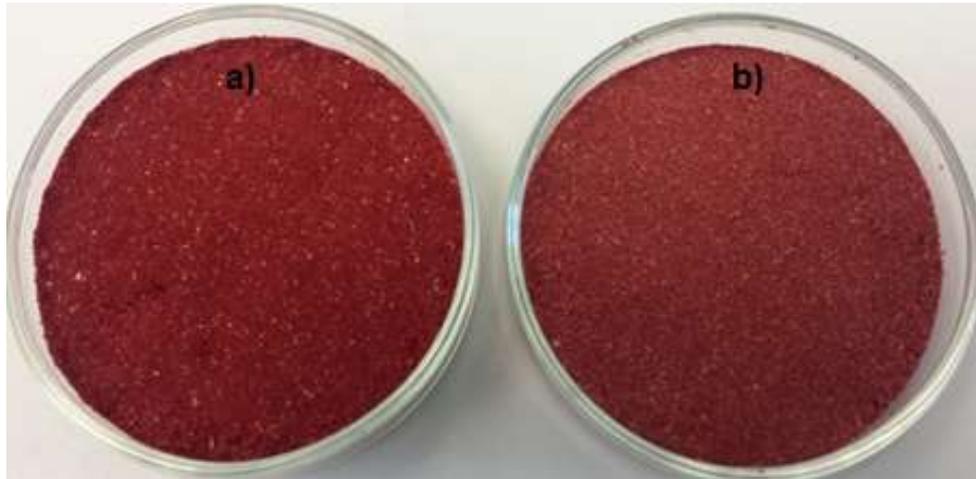
### 5.1.1. Obtención de las muestras

Las zarzamoras (*Rubus sp.*) y el residuo se obtuvieron del Laboratorio de Tecnofuncionalidad de Alimentos, el cual pertenece al Área Académica de Nutrición, del Instituto de Ciencias de la Salud, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). El procesamiento del fruto de zarzamora para obtener jugo, genero alrededor de un 18 % de residuo, el porcentaje restante corresponde al jugo, el cual fue utilizado para otros estudios. Tanto el residuo como zarzamoras enteras sin procesar fueron conservados en congelación a -20 °C para su posterior liofilización. En la figura 7, se observan las muestras de este estudio.



**Figura 7.** Fotografía de las muestras de estudio a) Zarzamora, b) Residuo.

Posterior a la liofilización, las muestras se homogeneizaron en un molino analítico (IKA, A 11 basic, USA) y se hicieron pasar por un tamiz de tamaño de partícula de 0.5 mm, de este modo se obtuvieron muestras homogéneas (Figura 8). Las muestras se almacenaron en frascos a temperatura de -20 °C para su posterior análisis.



**Figura 8.** Fotografía de muestras de estudio liofilizadas a) Zarzamora, b) Residuo.

## 5.2. Determinación de la composición química proximal

### 5.2.1. Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó por el método de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC) (Método 925.09; AOAC 2005). El contenido de humedad de un alimento es una medida indirecta del contenido de sólidos totales y por lo tanto es indicador de estabilidad y calidad del alimento. El método se basa en un ensayo gravimétrico, en el que se determina la diferencia de pesos obtenidos en una muestra antes y después de secarla a temperatura constante. En balanza analítica (Adventure, 127275, China), se pesó 1 g de muestra en una charola de aluminio, la cual previamente se llevó a peso constante. Posteriormente, las muestras se colocaron en un horno (Scorpion Scientific, A52035, USA) a 105 °C durante 4 h. Al finalizar el tiempo de secado, las muestras se dejaron enfriar durante 30 min y se procedió a pesarlas en balanza analítica. Los pesos se registraron y se utilizó la fórmula 1 para la determinación del contenido de humedad. Los resultados se reportaron en porcentaje de humedad (%).

$$\text{Cálculo del \% de Humedad} = [(P_i - P_f) / P_i] * 100 \quad (1)$$

Dónde:

P<sub>i</sub>: Peso de la muestra húmeda

P<sub>f</sub>: Peso de la muestra seca

### **5.2.2. Determinación de proteína**

La determinación de proteína se realizó por el método de Kjeldahl (Método 991.20; AOAC 2005), utilizando un factor de conversión de % de nitrógeno a proteína cruda de 6.25. Lo anterior, de acuerdo a los factores recomendados por la Food and Agriculture Organization (FAO)/ Organización Mundial de la Salud (OMS).

El procedimiento determina la materia nitrogenada total, basándose en la digestión de la muestra, para lo cual se utiliza ácido sulfúrico que reduce el nitrógeno orgánico hasta amoníaco, el cual queda en forma de sulfato de amonio. Concluida la digestión, la muestra se alcaliniza y se destila directamente o por arrastre con vapor para desprender el amoníaco, el cual es atrapado en una solución ácida y titulada automáticamente por el equipo. Para esta determinación se utilizó un equipo de digestión, destilación y neutralización (Gerhardt, Vapodest 50, USA). Se pesaron 0.5 g de cada muestra y se colocaron en un tubo de digestión Kjeldahl, junto con una tableta catalizadora (Kjeltabs Gerhardt). Se adicionaron 2 mL de agua destilada y 15 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) al 97.9 %. Fue necesaria la utilización de dos blancos durante la determinación. La determinación se llevó a cabo en 3 pasos, que a continuación se describen:

**Digestión:** una vez que el digestor (Gerhardt, Kjeldatherm, USA) alcanzó una temperatura de 230 °C, se colocaron tubos de digestión y se conectaron al sistema de neutralización, se verificó la neutralización de gases con solución de NaOH al 10 %. Se mantuvieron a la misma temperatura durante 30 min.

Una vez transcurrido el tiempo, se elevó la temperatura a 260 °C (5 min), a 300 °C (10 min), a 400 °C (20 min) y finalmente a 405 °C hasta que se observó un tono verde esmeralda (aproximadamente 20 - 30 min).

Destilación: una vez enfriados los tubos de digestión, se colocaron en el destilador automático (Gebhardt, Vap 50, USA), el cual fue programado para realizar la destilación de amoniaco adicionando automáticamente NaOH al 10 %.

Titulación: posteriormente se inició una titulación automática con ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) al 3 % (pH 4.6 - 4.7). El porcentaje de nitrógeno que fue determinado por el equipo se utilizó para calcular el porcentaje de proteína total de acuerdo con la fórmula 2. Los resultados se expresaron como % de proteína en base húmeda.

$$\text{Cálculo del \% de Proteína} = (\% \text{ de Nitrógeno})(6.25) \quad (2)$$

### **5.2.3. Extracto etéreo**

La metodología a seguir fue de acuerdo a la AOAC (Método 930.39; AOAC 2005). Esta prueba se basa en la extracción de los lípidos libres con disolventes de poca polaridad, sin extraer lípidos compuestos como pigmentos y ceras. Con esta determinación fue obtenido el contenido total de lípidos de las muestras, los cuales incluyen ácidos grasos libres, lípidos simples y compuestos, prostaglandinas, esteroides, pigmentos y vitaminas liposolubles. Para la determinación se utilizó un sistema de extracción de grasas (Buchi, B-811, Switzerland), el cual cuenta con una placa de calentamiento controlada (Barnstead Lab Line). Para la determinación de extracto etéreo se pesó 1 g de muestra dentro de cartuchos de celulosa marca Wathman, para extracción de grasas. Después se colocaron los cartuchos en los vasos de extracción del equipo. Se agregaron 80 mL de éter de petróleo 30 - 75 °C en cada vaso y se llevó a cabo la extracción durante 3 h. Concluido el proceso se evaporó el éter sobrante en una parrilla de calentamiento (Cole Parmer, CPI03407-10, China) a 60 °C y se registró el peso de los vasos.

Para determinar el contenido total de grasa se utilizó la fórmula 3. Los resultados se expresaron en % de extracto etéreo en base húmeda (g/100 g bh).

$$\text{Cálculo del \% de Extracto etéreo} = [(A-B)*100]/M \quad (3)$$

Dónde:

A: Peso del vaso con residuo lipídico (g)

B: Peso del vaso (g)

M: Peso de la muestra (g)

#### **5.2.4. Determinación de cenizas**

La determinación se realizó de acuerdo a metodología de incineración propuesta por la AOAC (Método 923.03; AOAC 2005). El principio de la determinación de minerales, se basa en un ensayo gravimétrico obtenido por la diferencia del peso inicial de la muestra menos el peso que se obtiene al final, después de realizar una carbonización y un incinerado. Las cenizas de un alimento representan el contenido mineral, para esto, toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550 - 600 °C, el material inorgánico que no se volatiliza a esa temperatura se conoce como ceniza. Para obtener el contenido total de cenizas, se colocaron los crisoles de porcelana en un horno (Scorpion scientific, A52035, USA) hasta peso constante a 130 °C durante 1 h. Se dejaron enfriar durante media hora en el desecador, después se llevaron a la balanza analítica y se registraron los pesos. Posteriormente se procedió a realizar una carbonización en mechero bunsen, utilizando pinzas para crisol como medio de sujeción. Esta carbonización previa se llevó a cabo en el interior de una campana de extracción de humos. Posteriormente, la incineración se realizó en una mufla (Thermolyne, 1500, USA) a una temperatura de 525 °C durante 5 h. Al término de este tiempo se disminuyó la temperatura a 200 °C y se pasaron las muestras a un desecador para dejarlas enfriar durante 1 h.

Las muestras se pesaron en balanza analítica, obteniendo el porcentaje de cenizas por diferencia de peso, los cálculos se obtuvieron con la fórmula 4 y los resultados fueron expresados como g de cenizas por cada 100 g de muestra en base húmeda (g/100 g bh).

$$\text{Cálculo del \% de Cenizas} = [(A - B) / C] * 100 \quad (4)$$

Dónde:

A: Peso del crisol a peso constante con muestra seca (g)

B: Peso del crisol con cenizas (g)

C: Peso de la muestra seca (g)

#### **5.2.4.1. Análisis semicuantitativo del contenido de minerales**

El análisis semicuantitativo del contenido mineral de las muestras, se realizó como complemento del estudio de MEB, el cual es describe en el apartado 5.4.4.

#### **5.2.5. Determinación de carbohidratos**

##### **5.2.5.1 Determinación de fibra dietética total**

La fibra dietética total (FDT) se determinó utilizando un método enzimático con un kit comercial de ensayo TDF -100A (Sigma - Aldrich, USA). Este método consistió en 3 etapas, la primera, un tratamiento enzimático para eliminar los componentes digeribles principalmente proteína y almidón, la segunda, una filtración para separar los compuestos digeribles de los no digeribles y finalmente la determinación de proteína y cenizas en el residuo obtenido de la filtración para corregir el valor total de FDT.

En la primera etapa se pesó 1 g de muestra en matraces Erlenmeyer de 250 mL, se adicionó a cada matraz 50 mL de solución amortiguadora de fosfatos 0.08 M (pH de 6.0) y 0.1 mL de  $\alpha$ -amilasa termoestable. Se cubrieron los matraces con papel aluminio y se colocaron en un baño de agua (Modelo LabTech, LSB – 0155, Korea) con agitación horizontal continua a 95 °C por 15 min. Transcurrido el tiempo, se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 15 min. Posteriormente, se ajustó el pH a  $7.5 \pm 0.2$  con la adición de NaOH 0.275 N. En cada matraz se adicionó 0.1 mL de solución de proteasa como amortiguador de fosfatos (50 mg/mL). Los matraces se cubrieron y se colocaron en un baño de agua en un agitador orbital a 60 °C durante 30 min con agitación continua. Las muestras se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente para ajustar el pH entre 4.0 y 4.6 agregando aproximadamente 10 mL de HCl 0.325 M. A continuación, se añadieron 0.1 mL de amilogucosidasa, y se colocaron nuevamente en un baño de agua a 60 °C por 30 min en agitación continua. Finalmente, se agregaron 300 mL de etanol al 95 % a cada matraz, se cubrieron y se dejaron durante toda la noche a temperatura ambiente para permitir la precipitación completa.

En la segunda etapa, las muestras se filtraron a un matraz limpio de 250 mL, utilizando crisoles Gooch No. 2 (4.5 - 5  $\mu$ m de porosidad y capacidad de 30 mL). Los crisoles fueron llevados a peso constante a 105 °C. A cada uno de estos filtros se le colocaron 0.5 g de celita. Posteriormente se colocaron en el horno a 105 °C por 1 h y se enfriaron en desecador por 15 min para ser nuevamente pesados y proceder con la filtración. Previo a la filtración se redistribuyó la cama de celita en cada crisol utilizando unas gotas de etanol al 78 %. El precipitado se transfirió lentamente por filtración a su respectivo crisol. Después se realizaron 3 lavados de 20 mL de etanol al 78 %, dos lavados de 10 mL de etanol al 95 % y dos lavados de 10 mL de acetona. Al finalizar los lavados las muestras se secaron por 12 h a 105 °C.

En la muestra seca se determinó la cantidad de proteína y cenizas. Para la cuantificación de fibra dietética total se utilizó la fórmula 5. Los resultados fueron expresados como g de FDT en 100 g de muestra sobre base húmeda (g/100 g bh).

$$\% \text{ Fibra dietética total} = [((R \text{ residuo} - P \text{ residuo} - A \text{ residuo}) - B) / M] * 100 \quad (5)$$

Dónde:

R: Peso del residuo (mg)

P: Peso de la proteína (mg)

A: Peso de cenizas (mg)

M: Peso de la muestra (mg)

B: (R blanco- P blanco - A blanco (mg))

### **5.2.5.2. Determinación de carbohidratos totales**

El contenido de carbohidratos totales fue calculado por diferencia, del peso total de la muestra con el peso de la determinación de humedad, proteína, extracto etéreo y cenizas. Los resultados se expresaron como g de carbohidratos totales por cada 100 g de muestra en base húmeda (g/100 g bh).

## **5.3. Determinación de antioxidantes y capacidad antioxidante**

### **5.3.1. Extracción de compuestos antioxidantes**

La extracción se realizó de acuerdo a Saura - Calixto *et al.* (2007). La cual consta de una extracción acuosa - orgánica de compuestos fenólicos, para ello 500 mg de las muestras de estudio fueron extraídas con metanol/agua (50:50 v/v, 50 mL/g) y acetona/agua (70:30 v/v, 50 mL/g), durante 1 h en agitación constante utilizando un agitador orbital (LabTech, LSI - 3016A, Korea) y a temperatura ambiente. Posteriormente se centrifugó durante 15 min, a 25 °C y 30,000 rpm (Beckman Coulter, Allegra 251M, USA). Los sobrenadantes obtenidos se combinaron y fueron colocados en viales ámbar con capacidad de 1.5 mL. Estas extracciones fueron utilizadas para cuantificar fenoles totales, antocianinas, ácido ascórbico y actividad antioxidante.

### 5.3.2. Determinación del contenido de fenoles totales

La cuantificación del contenido de fenoles totales (CFT), se determinó mediante el método espectrofotométrico que utiliza el reactivo de Folin - Ciocalteau (Stintzing *et al.*, 2005). El reactivo es una mezcla de ácidos, fosfotungstico y fosfomolibdico en medio básico, los cuales son reducidos a óxidos azules de tungsteno y molibdeno durante la oxidación de los compuestos fenólicos. Esta reducción ocurre bajo condiciones alcalinas en presencia de carbonato de sodio. La coloración azul es proporcional al contenido de compuestos fenólicos y esta respuesta es monitoreada a una longitud de onda de 765 nm. Para la determinación de CFT, se mezcló en un vortex (Scientific, G560, USA) 100  $\mu$ L de las muestras con 500  $\mu$ L del reactivo de Folin - Ciocalteu diluido (1:10 en agua desionizada) y con 400  $\mu$ L de carbonato de sodio al 7.5 %, y se dejaron reposar durante 30 min. La absorbancia de la mezcla se midió a 765 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS UV - Biotek, software de KC Junior, USA). Para la determinación se utilizó el ácido gálico (AG) como patrón de referencia en una curva de calibración ( $R^2 = 0.99$ ). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de AG por cada 100 g de muestra en base húmeda (mg EAG/100 g bh).

### 5.3.3. Determinación de antocianinas

La medición de antocianinas se llevó a cabo de acuerdo al método espectrofotométrico de pH propuesto por Giusti y Wrolstad. (2001), que se basa en el diferencial de color emitido por las antocianinas en diferentes pH. Para la determinación de antocianinas, se tomaron 500  $\mu$ L de muestra y se diluyeron usando 4.5 mL de solución buffer de cloruro de potasio al 0.025 M, ajustado a un pH de 1.0. En otro vial, se homogeneizó la misma cantidad de muestra (500  $\mu$ L) con 4.5 mL de solución de acetato de sodio 0.4 M y se ajustó a un pH de 4.5 con HCl 0.1 M. Posteriormente, las muestras se dejaron en la oscuridad durante 15 min a temperatura ambiente (25 °C).

Transcurrido el tiempo, se procedió a tomar las lecturas, usando un lector de microplacas (Power Wave XS UV - Biotek, software KC Junior, USA). En cada microplaca se colocó un blanco, el cual fue cloruro de potasio o acetato de sodio, según el caso. Finalmente se realizaron dos lecturas de ambas microplacas, la primera lectura fue a 510 nm y la segunda a 700 nm. Para la cuantificación de antocianinas se utilizó la fórmula 6. Los resultados fueron expresados como mg de cianidin -3-glucósido por cada 100 g de muestra en base húmeda (mg Cy3GI/100 g bh).

$$\text{Contenido de antocianinas (mg/100 g)} = (A \cdot PM \cdot FD \cdot 100) / (\epsilon \cdot T_p) \quad (6)$$

Dónde:

A= absorbancia de la resta entre valores de cloruro de potasio(510 nm - 700 nm) menos la absorbancia de la resta de los valores de acetato de sodio (510 nm - 700 nm)

PM= peso molecular de Cy3GI (449.2 g/mol)

FD= factor de dilución (1:10)

$\epsilon$ = absorción molar (26900 L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>)

T<sub>p</sub>= tamaño de la cubeta de la microplaca (0.529 cm)

#### 5.3.4. Determinación de ácido ascórbico

Para la determinación de ácido ascórbico (AA), se utilizó el método colorimétrico descrito por Dürüst *et al.* (1997), en el cual se utiliza el reactivo 2,6-diclorofenolindofenol (DCPI), que tiene una coloración azul - violeta y al entrar en contacto con ácido ascórbico cambia de color a rosa o incoloro. Para la determinación de AA, 100 µL de muestra se mezclaron con 100 µL de amortiguador (acetato de sodio) y 800 µL de DCPI, en un vortex (Scientific, G560, USA) y finalmente la absorbancia se midió en un lector de microplacas (Power Wave XS UV - Biotek, software KC Junior, USA) a 520 nm.

Como curva patrón se utilizó AA ( $R^2 = 0.9975$ ). Los resultados fueron reportados como mg de ácido ascórbico por 100 g de muestra en base húmeda (mg AA/100 g bh).

### 5.3.5. Capacidad antioxidante

Existen diversos métodos para evaluar la actividad antioxidante de un compuesto, mezcla o alimento. Uno de los mecanismos que se evalúan en estos métodos, es determinar la capacidad de los compuestos fenólicos para captar los radicales libres generados (Kuskoski *et al.*, 2005). Los más utilizados en investigación son ABTS [2, 2'-azinobis-(3-etil-benzo-tiazolin-6-ácido sulfónico)] y DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), ya que ambos presentan una excelente estabilidad en diferentes condiciones, aunque algunos autores consideran que la actividad antioxidante medida por el radical ABTS podría ser la más aplicada (Arnao, 2000; Antolovich *et al.*, 2002; Kuskoski *et al.*, 2005).

#### 5.3.5.1. Método ABTS

La determinación de la actividad antioxidante por medio del atrapamiento del radical ABTS se realizó de acuerdo a Kuskoski *et al.* (2005). El ABTS es un radical con un nitrógeno central que presenta un color característico azul - verde y se obtiene tras la reacción de una solución de ABTS al 7  $\mu\text{mol/L}$  con persulfato de potasio al 2.45  $\mu\text{mol/L}$ , incubados a temperatura ambiente (25 °C) en la oscuridad durante 16 h antes de su uso. Cuando este radical es reducido a la forma no radical (radical libre), presenta una pérdida de color (Re *et al.*, 1999; Kuskoski *et al.*, 2005).

Para la determinación, se diluyó la solución de ABTS con agua desionizada hasta obtener una absorbancia de  $0.70 \pm 0.10$  a 754 nm. Posteriormente, a 20  $\mu\text{L}$  de muestra se le adicionó 980  $\mu\text{L}$  de solución ABTS diluida y se mezclaron en un vortex (Scientific, G560, USA). Finalmente, se dejaron reposar durante 7 min.

Transcurrido este tiempo, las lecturas de absorbancia fueron tomadas a 754 nm en el lector de microplacas (PowerWave XS UV - Biotek, software KC Junior, USA).

Como patrón de referencia se utilizó Trolox (Carboxílico 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcrom) ( $R^2 = 0.9997$ ). La capacidad antioxidante medida por el método ABTS

fue expresada como micromoles equivalentes de Trolox por 100 g de muestra en base húmeda ( $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g bh}$ ).

#### **5.3.5.2. Método DPPH**

La actividad antioxidante en base al radical DPPH se evaluó de acuerdo al procedimiento reportado por Morales y Jiménez - Pérez. (2001). El reactivo DPPH es un radical libre estable, que en solución etanólica presenta una coloración violeta fuerte y su máxima absorbancia se obtiene a una longitud de onda de 520 nm. Si se adiciona a este medio una sustancia susceptible de atrapar radicales libres, como lo es el Trolox, el electrón no apareado del DPPH se aparea e inmediatamente se presenta una decoloración de la solución que puede ir hasta amarillo en razón del número de electrones apareados (Brand - Williams *et al.*, 1995). Para esta técnica, se colocaron 100  $\mu\text{L}$  de muestra y 500  $\mu\text{L}$  de solución de DPPH (7.4 mg de DPPH fueron mezclados con 100 mL de etanol) en viales ámbar, se mezclaron (Scientific, G560, USA) y se dejó reposar durante 1 h a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo, se centrifugó a 3,000 rpm durante 10 min (C1200/DW41, Labnet, Korea). La absorbancia fue medida a 520 nm utilizando el lector de microplacas (Power Wave XS UV - Biotek, software KC Junior, USA). Como patrón de referencia se utilizó Trolox ( $R^2 = 0.991$ ). Los resultados se expresaron como  $\mu\text{mol}$  equivalentes de Trolox por cada 100 g de muestra en base húmeda ( $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g bh}$ ).

### **5.4. Determinación de propiedades físicas**

#### **5.4.1. Determinación de color**

Para la determinación del color en las muestras se utilizó un colorímetro (Hunter Lab, MiniScan, USA). El color se graba como,  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Donde  $L^*$  indica luminosidad ( $L^* = 0 - 100$ , de blanco a negro, respectivamente),  $a^*$  el eje de cromaticidad entre verde (-) a rojo (+), y  $b^*$  el eje entre el azul (-) y amarillo (+). Los valores numéricos de  $L^*$ ,  $a^*$

y  $b^*$  se utilizaron para obtener tonalidad ( $^{\circ}h = \text{tg}^{-1}(b/a)$ ) y cromaticidad ( $C = [a^* a + b^* b]^{1/2}$ ).

#### 5.4.2. Propiedades funcionales de la fibra

Las propiedades funcionales que presenta la fibra, en un alimento son las responsables de los efectos fisiológicos que desarrolla la FDT y están influenciados por la matriz estructural de la fibra, la relación fibra dietética insoluble/ soluble, el tamaño de la partícula, la fuente, así como por el grado y el tipo de procesamiento llevado a cabo.

##### 5.4.2.1. Capacidad de retención de agua

La CRA se determinó de acuerdo a Lajolo y Wenzel. (1998). Se define como la capacidad de los alimentos, de retener toda o parte de su propia agua o agua añadida durante la aplicación de fuerzas externas (centrifugación). En tubos de centrifuga, se pesaron 0.5 g de muestra, se adicionaron 10 mL de agua destilada y se agitaron manualmente durante 10 min. Posteriormente, se dejaron en reposo durante 24 h a temperatura ambiente. Después de ese tiempo, se centrifugaron a 3,000 rpm durante 10 min. Inmediatamente después se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento obtenido tras la centrifugación.

Para obtener los resultados de CRA se utilizó la fórmula 7. Los resultados fueron expresados como porcentaje (%).

$$\% \text{ de Capacidad de retención de agua} = [(P_1 - P_0)/P_0] * 100 \quad (7)$$

Dónde:

$P_1$ : Peso final

$P_0$ : Peso inicial

#### 5.4.2.2. Capacidad de hinchamiento

La CH se determinó de acuerdo a Lajolo y Wenzel. (1998). Esta propiedad se define como el grado de absorción continua de un sólido que se produce con conservación de la homogeneidad de la fase, es decir la formación de una verdadera disolución del líquido en la sustancia sólida. Para determinar esta capacidad se pesaron 2 g de muestra en una probeta graduada de 25 mL a la cual se adicionaron 10 mL de agua destilada y se agitaron manualmente durante 5 min. Las muestras se dejaron reposar durante 24 h a temperatura ambiente. Posteriormente se midió el volumen final de las muestras. La CH se calculó con la fórmula 8. Los resultados se expresaron como mL/g.

$$\text{Capacidad de hinchamiento (mL/g)} = (V_1 - V_0) / (P) \quad (8)$$

Dónde:

$V_1$ : Volumen final

$V_0$ : Volumen inicial

$P_m$ : Peso de la muestra

#### 5.4.3. Viscosidad

Esta determinación se basa en la fuerza que debe hacer el equipo para tener un movimiento uniforme en la suspensión. Para poder llevar a cabo esta determinación, las muestras fueron reconstituidas a su porcentaje de agua inicial. Las muestras de zarzamora fueron reconstituidas a un 85.2 % y las de residuo a un 74.5 % de humedad. La viscosidad fue determinada en un viscosímetro (Brookfield DV-E, USA), a temperatura ambiente (25 °C), 50 rpm y usando una aguja del No.61. Los resultados fueron expresados como megapascuales (Mpa).

#### **5.4.4. Microscopía electrónica de barrido**

El microscopio electrónico de barrido (MEB) es una herramienta fundamental para estudiar la morfología de partículas de muy pequeño tamaño; permitiendo una visión tridimensional. Se trata de una técnica rápida, confiable, con alta profundidad de campo, que además permite obtener radiografías y un espectro, con el cual se puede conocer la composición elemental de un material (Gámiz *et al.*, 2002). Esta determinación se realizó en el Instituto de la Tierra y de los Materiales de la UAEH y se utilizó un microscopio electrónico de barrido (JEOL modelo SSM 6300) con alcance de 300,000 magnificaciones y una resolución de 30 Kv. La muestra liofilizada se depositó sobre una cinta de grafito de doble cara. Después fueron recubiertas con una capa delgada de oro de 1 nm en una máquina ionizadora (Denton Vacuum) a una presión de 20 millitorr y una corriente de 20 mA durante 4 min. Este recubrimiento a presión tiene como objetivo llegar al punto de sublimación del oro, para volver conductora la muestra y así sea resistente al haz de electrones al que son sometidas dentro del microscopio electrónico.

Una vez preparadas las muestras se procedió a observarlas en el MEB a 1,000 y 2,000 ampliaciones (1000X y 2000X) y se tomaron micrografías para establecer la comparación estructural entre las muestras.

A las mismas muestras, después de haber obtenido las micrografías, se les realizó un análisis semicuantitativo de composición mineral, el cual se obtuvo mediante un espectro que forma parte del MEB.

#### **5.5. Análisis estadístico**

Los resultados fueron expresados como la media  $\pm$  desviación estándar de al menos tres determinaciones y con el fin de llevar a cabo una interpretación objetiva de los resultados obtenidos se realizó diferentes estudios estadísticos. Los datos fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en Inglés) con un

nivel de significancia de  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$   $p < 0.001$  para establecer las diferencias entre las dos muestras de estudio. Para este análisis se utilizó el programa GraphPad Prisma versión 5.03.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del procesamiento de la zarzamora se obtuvo un residuo de alrededor del 18 % (Tabla 2), constituido principalmente por semillas además de remanentes de piel y pulpa. Este porcentaje es similar al 20 % de residuo presentado por Pasquel *et al.* (2014), después del procesamiento de la zarzamora.

**Tabla 2.** Rendimiento del fruto de zarzamora.

	Fruto (Kg)	Jugo (Kg)	Residuo (Kg)
	100	82	<b>18</b>
(1 tonelada= 1000Kg)	1000	820	180

En comparación con la obtención de residuos del procesamiento de otros frutos, el residuo de zarzamora es similar a lo obtenido en el procesamiento del jugo de fresa con un 20 %; y de la guayaba, mango y tamarindo con un 30 % de residuo (Camacho, 1995; Gutiérrez, 2014). Mientras que, otros frutos presentan una mayor cantidad de residuos obteniéndose un menor rendimiento del producto, como son los cítricos, en los cuales se obtiene de un 45 a un 60 % de residuos (Omaña *et al.*, 2010). Estos residuos han sido ampliamente estudiados debido a que aún contienen compuestos bioactivos, además por la cantidad de residuo obtenido (hasta 180 Kg/ ton) (Tabla 2), aún podrían ser aprovechados.

## 6.1. Composición química proximal

### 6.1.1. Humedad

El contenido de agua de la mayoría de las frutas, es generalmente el componente mayoritario. Tal como se observa en la tabla 3, la zarzamora presentó un porcentaje de humedad de 85.4 %, lo cual coincide con lo encontrado por otros autores (Lee *et al.*, 1984; Hassimotto *et al.*, 2008; Valencia y Guevara, 2013), para la mayoría de frutas, con una humedad de 80 a 95 %. Debido a su alto contenido de humedad la zarzamora es un fruto con más jugo que pulpa (Arellano y Díaz, 2012).

**Tabla 3.** Composición química proximal de la zarzamora y del residuo por cada 100 g bh.

Determinación (%)	Zarzamora	Residuo
Humedad	85.42 ± 0.72***	74.83 ± 0.76
Proteína	1.39 ± 0.04***	2.60 ± 0.11
Extracto etéreo	0.53 ± 0.00***	1.84 ± 0.03
Cenizas	0.39 ± 0.01**	0.54 ± 0.02
Carbohidratos	12.26 ± 0.78*	20.18 ± 0.80
Fibra dietética total	3.92 ± 0.10***	12.47 ± 0.15

El asterisco indica diferencias significativas entre las muestras (\*p < 0.05, \*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.0001).

El residuo obtenido después del procesamiento de la zarzamora, presentó un porcentaje de humedad menor (74.8 %), ya que se caracteriza por ser un producto semisólido fibroso del cual ya ha sido extraída la parte líquida durante la obtención de jugo. Otros residuos de fruta han reportado porcentajes de humedad similares, tal es el caso del residuo de mango con 69 % o de guayaba con hasta un 89 % (Milena *et al.*, 2008).

### 6.1.2. Proteína y extracto etéreo

Generalmente, el contenido de lípidos es uno de los componentes minoritarios en los vegetales, ya que presentan un contenido bajo de grasas, a excepción del aguacate y algunas semillas oleaginosas. En la tabla 3, se puede observar que la zarzamora presentó valores bajos de proteína y lípidos, con 1.39 y 0.53 % respectivamente, los cuales son similares a los valores presentados por la USDA (2010) para este fruto.

El residuo en comparación con la zarzamora, presentó un contenido mayor de proteína (2.6 %) y de lípidos (1.8 %). Estos valores fueron superiores a los encontrados en residuos de naranja, guayaba, guanábana y mango, en los cuales el contenido de proteína se presentó en un rango de 0.6 - 1.9 % y los lípidos de 0.25 - 0.48 % para dichos residuos (Milena *et al.*, 2008). Esta diferencia pudiera atribuirse al mayor contenido de semillas en el residuo de zarzamora, ya que estas están constituidas principalmente por aceites y proteína (Ochoa, 1998).

### 6.1.3. Cenizas

El contenido de cenizas es representativo del contenido de nutrimentos inorgánicos, y éste depende del grado de maduración del fruto (Arellano y Díaz, 2012) y del tipo de suelo. Tal como se observa en la tabla 3, en la zarzamora las cenizas fueron el componente minoritario (0.39 %), similar a los valores presentados por otros autores (Hassimotto *et al.*, 2008; Valencia y Guevara, 2013).

Mientras que el porcentaje de cenizas en el residuo fue mayor (0.54 %) que lo presentado en el fruto, de igual forma a otros compuestos nutricionales determinados.

Para la cuantificación de minerales se utilizó un estudio de MEB, según los resultados obtenidos de este estudio (Tabla 4), en la zarzamora se encontró magnesio, potasio, calcio, hierro, manganeso, azufre, silicio y cloro.

**Tabla 4.** Análisis semicuantitativo del contenido de minerales de la zarzamora y el residuo.

Elemento	Zarzamora (%)	Residuo (%)
C	42.93 ± 1.74	48.02 ± 4.69
N	6.67 ± 0.52	7.54 ± 0.43
O	48.24 ± 2.27	43.04 ± 4.16
P	0.18 ± 0.02	0.19 ± 0.08
Na	-	0.01 ± 0.01
Mg	0.14 ± 0.05	0.11 ± 0.05
K	1.34 ± 0.14*	0.81 ± 0.17
Ca	0.08 ± 0.06	0.08 ± 0.04
Fe	0.16 ± 0.28	0.03 ± 0.05
Cu	-	-
Zn	-	-
Mn	0.05 ± 0.09	-
S	0.07 ± 0.01	0.05 ± 0.01
Si	0.06 ± 0.02	0.02 ± 0.04
Cl	0.04 ± 0.06	0.06 ± 0.05

\*El asterisco indica diferencias significativas entre las muestras (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.0001$ ).

En cuanto al residuo, éste presentó cantidades de minerales similares al fruto de zarzamora para el caso del fósforo, calcio y cloro, en otros minerales como magnesio, potasio, hierro, azufre y silicio el contenido fue menor.

En la muestra de residuo, a diferencia de la zarzamora se detectó la presencia de sodio, aunque en una cantidad muy pequeña, pero no se detectó manganeso.

En otros estudios realizados a la zarzamora además de los minerales ya mencionados, también se ha encontrado cobre, selenio, sodio y zinc (Plessi *et al.*, 2007; Talcott, 2007; USDA, 2010). Estas diferencias pueden deberse principalmente al tipo de suelo en el cual se cosechan estos frutos, ya que el suelo de Atotonilco, Hgo, (lugar donde se cosechó la zarzamora) está constituido por capas de ceniza volcánica y pómez y un conglomerado de grava y arena, que transportan material producto de la erosión caracterizado por el contenido de minerales (Solana, 2012), principalmente potasio y otros minerales en mínimas concentraciones.

#### **6.1.4. Carbohidratos**

##### **6.1.4.1. Fibra dietética total**

Debido a la importancia de las propiedades funcionales de la fibra en la prevención y tratamiento de trastornos gástricos y cardiovasculares, un aporte alto de fibra dietética en los alimentos, le confiere mayor importancia nutricional. La tabla 3, muestra que en la zarzamora se encontró casi un 4 %. Este valor puede ser considerado bajo si lo comparamos con otras frutas como la guayaba que presenta un contenido de 8.5 % y con el zapote que presenta hasta 10.9 % de fibra dietética. Sin embargo, es alto comparado con frutas que se consumen convencionalmente en México, como la manzana, plátano, papaya y algunos cítricos como la naranja, que presentan un porcentaje de entre 1 y 3 % de fibra dietética según lo reportado por Ramulu y Udayasekhara. (2003).

El residuo presentó un mayor contenido de fibra dietética (12.4 g/100 g bh). Este valor fue hasta tres veces mayor que el contenido de fibra del fruto entero de zarzamora.

Por su contenido de fibra dietética, el residuo podría ser considerado un producto con importantes propiedades funcionales, ya que se encuentra entre los valores de fibra

de aquellos alimentos que tradicionalmente han sido considerados como buenas fuentes de fibra dietética, como lo son trigo (14.9 %), avena (11.5 %), maíz (13 %), sorgo (11.4 %) (Picolli y Santorio, 2005) y leguminosas como frijol blanco (18.2 %) y lenteja (15.5 %) (Pak, 2000).

Por tanto, el residuo del procesamiento de zarzamora, puede ser considerado de acuerdo a la Legislación Europea (Reglamento CE 1924/2006), como “fuente de fibra” ya que contiene más de 3 g/100 g bh. Resultados similares se han presentado en otros subproductos del procesamiento industrial de frutas, los cuales han sido clasificados como fuentes importantes de fibra dietética, tal es el caso del residuo de naranja, guayaba y mango, que presentan un contenido de fibra de entre 4 y 9 % (Milena *et al.*, 2008; Ramírez y Pacheco, 2009).

#### **6.1.5. Carbohidratos totales**

En general todas las frutas son fuente importante de carbohidratos, principalmente monosacáridos (glucosa y fructosa) y oligosacáridos (sacarosa) (Plaza - Díaz *et al.*, 2013). Por lo tanto en el presente estudio, en las muestras de zarzamora y de residuo el contenido de carbohidratos fue el componente mayoritario después de la humedad. El fruto de zarzamora presentó un 12.2 % de carbohidratos totales, valor que es similar a lo encontrado en otros estudios (9 - 13 %) (USDA, 2010; Valencia y Guevara, 2013). El contenido de carbohidratos depende de las condiciones de pre y pos-cosecha, como de las ambientales, entre otras (Pantastico, 1979).

Por otra parte el contenido de carbohidratos del residuo (20.1 %) fue mayor al encontrado en el fruto entero (12.2 %). Estos resultados son altos en comparación a estudios en residuos agroindustriales de frutas (Milena *et al.*, 2008), donde han encontrado un contenido de carbohidratos de entre 4 y 5% para residuos de naranja, guanábana y mango.

## 6.2. Antioxidantes y capacidad antioxidante

### 6.2.1. Contenido de fenoles totales

Los compuestos fenólicos son un grupo de antioxidantes naturales presentes en forma de glucósidos en las frutas. Estos compuestos le aportan a los alimentos de origen vegetal características organolépticas con beneficios fisiológicos que además retardan la oxidación de los lípidos y mejoran su calidad nutricional.

Tal como se observa en la tabla 5, el contenido de compuestos fenólicos totales presentes en la zarzamora fue de 480.2 mg EAG/100 g bh, valor muy similar a los valores reportados por otros autores, que van en un rango entre 341 - 555 mg EAG/100 g bh (Sellappan *et al.*, 2002; Hassimotto *et al.*, 2008; Valencia y Guevara, 2013). El contenido de CFT de la zarzamora es similar a lo encontrado en otros frutos como el mango (544 mg EAG/100 g bh) y la toronja (425 mg EAG/100 g bh). Y más alto comparado con frutos como guayaba, fresa, mora, manzana y uva, cuyo contenido de fenoles se encuentran en un rango de entre 83 a 132 mg EAG/100 g bh (Kuskoski *et al.*, 2005; Cieslik *et al.*, 2006). Para el caso del residuo, éste presentó un 50 % más del contenido de fenoles totales (721.2 mg EAG/100 g bh) que lo encontrado en el fruto de zarzamora. El mismo comportamiento se presentó en diferentes componentes ya anteriormente descritos, principalmente en fibra. Por lo que es posible que la fibra del residuo esté actuando como acarreador de compuestos antioxidantes, como ya lo ha mencionado Goñi y Hervert – Hernández, 2011.

En diferentes estudios realizados en residuos se ha encontrado que una de las fuentes más ricas en compuestos fenólicos es el exocarpio de bayas y durante el procesamiento de vinos y jugos dichos compuestos permanecen en la cáscara. Por lo cual estos residuos son aprovechados para hacer compostaje (Larrosa *et al.*, 2002; Lapornik *et al.*, 2005).

**Tabla 5.** Antioxidantes y capacidad antioxidante de la zarzamora y del residuo por cada 100 g bh.

Determinación	Zarzamora	Residuo
Contenido de fenoles totales (mgEAG)	480.21 ± 4.42***	721.28 ± 29.37
Antocianinas (mg Cy3GI)	66.84 ± 1.40**	76.64 ± 2.25
Ácido ascórbico (mgAA)	4.88 ± 0.14***	9.25 ± 0.64
Capacidad antioxidante ABTS( µmol ET)	85.00 ± 3.46***	133.00 ± 6.31
DPPH( µmol ET)	2872.00 ± 8.63***	5327.00 ± 37.43

El asterisco indica diferencias significativas entre las muestras (\*p < 0.05, \*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.0001).

En otros estudios se ha encontrado que las cáscaras y semillas de productos vegetales contienen cantidades más altas de compuestos fenólicos que la pulpa, ya que estos componentes tienen relación con la protección del fruto, contra depredadores y el clima, entre otras condiciones adversas (Garzón, 2008). Por ejemplo, George *et al.* (2004), encontró que las semillas del jitomate presentan un mayor contenido de compuestos fenólicos que la pulpa, de igual forma que lo encontrado en estudios previos con tuna (Ramírez - Moreno *et al.*, 2011).

### 6.2.2. Antocianinas

Además de su papel como metabolitos secundarios en la pigmentación de las plantas, las antocianinas han adquirido un mayor interés como ingredientes funcionales y como agentes potenciales de protección contra el estrés oxidativo (Stintzing *et al.*, 2002). Es por ello que entre mayor sea el contenido de antocianinas mayor serán las propiedades funcionales de la zarzamora.

El contenido de antocianinas de la zarzamora que se encontró en este estudio, fue de 68.8 mg de Cy3GI/100 g bh (Tabla 5). Esta concentración se encuentra dentro del rango del contenido de antocianinas en zarzamora de otros estudios, que es de 67 a 326 mg de Cy3GI/ 100 g bh (Sellappan *et al.*, 2002; Benvenuti *et al.*, 2004; Hassimotto *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2010; Valencia y Guevara, 2013). El contenido de antocianinas en la zarzamora es considerablemente mayor al de otros frutos de mayor consumo en México como lo son uvas, fresa y guayaba los cuales presentan entre 2 y 30 mg Cy3GI/100 g bh (Kuskoski *et al.*, 2005).

De igual forma que otros componentes, el contenido de antocianinas, se encontró en mayor concentración en el residuo que en el fruto (76.6 mg Cy3GI/100 g bh), lo cual coincide con el contenido de fenoles totales.

### **6.2.3. Ácido ascórbico**

La vitamina C en el fruto de zarzamora, es la que se encuentra en mayor proporción considerando el aporte total de vitaminas, incluso el sabor ácido que el fruto presenta, entre otros de sus componentes, es debido al ácido ascórbico. En la tabla 5, se puede observar que la zarzamora presentó una concentración de ácido ascórbico de 4.88 mg AA/100 g bh, sin embargo, en otros estudios se ha encontrado una mayor concentración de ácido ascórbico en la zarzamora (9.9 - 21 mg) (Pantelidis *et al.*, 2007; Hassimotto *et al.*, 2008; Valencia y Guevara, 2013). Estas diferencias, pueden deberse principalmente a distintas condiciones: variedad botánica, condiciones de cultivo, almacenamiento, procesamiento y comercialización (Araya *et al.*, 2006).

El residuo presentó un contenido de ácido ascórbico de 9.25 mg AA/100 g bh, es decir 89 % más de ácido ascórbico que el fruto de zarzamora. El contenido de ácido ascórbico tanto de la zarzamora como de su residuo (entre 4 y 9 mg AA/100 g bh) es similar a lo que presentan otros frutos como la tuna (13 mg) y el plátano (4.9 mg) (Jawaheer *et al.*, 2003).

Por otro lado, el aporte de ácido ascórbico es bajo en comparación con otros vegetales ricos en ácido ascórbico como lo es la guayaba (132 mg) y el pimiento (128 mg) y otros frutos como toronja y naranja (alrededor de 50 mg) (Moreno - Álvarez *et al.*, 2002; Jawaheer *et al.*, 2003; Muñoz *et al.*, 2007).

#### **6.2.4. Capacidad antioxidante**

La actividad antioxidante de las muestras fue determinada por el método ABTS y DPPH (Tabla 5). El fruto de zarzamora presentó una actividad de 85  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bh}$  determinada por ABTS y 2872  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bh}$  por DPPH. La capacidad antioxidante determinada por el método ABTS, es un valor superior al rango de 2 - 39  $\mu\text{mol ET}$  reportado por otros autores (Sellappan *et al.*, 2002; Valencia y Guevara, 2013). Sin embargo, es un resultado que se encuentra dentro del rango presentado para actividad antioxidante en otros frutos como piña, guayaba, mora, uva, fresa y mango, el cual es de 64 a 224  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$  (Kuskoski *et al.*, 2005). Con respecto a la determinación de actividad antioxidante por el método de DPPH, la zarzamora presentó un valor superior (2872  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ ) al reportado para otros frutos tal como piña, mora, guayaba, uva, fresa y mango, cuya actividad antioxidante por el método DPPH se encuentra entre 41 y 174  $\mu\text{mol ET}$  (Kuskoski *et al.*, 2005).

El residuo presentó un valor de actividad antioxidante determinado por el método de ABTS de 133  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bh}$  y para DPPH de 5327  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g bh}$  (Tabla 5). Ambos valores fueron altos (mayor del 50 %), en comparación a la actividad antioxidante presente en la zarzamora. En otros residuos se han encontrado valores mayores como en el de mango y guayaba, donde se encontraron valores de actividad antioxidante por el método ABTS de 39 - 88  $\mu\text{mol ET}$  y para DPPH de 78 - 96  $\mu\text{mol ET}$  (Olivera, 2013). Los datos encontrados expresan, que el residuo del procesamiento de zarzamora cuenta con una considerable actividad antioxidante, la cual es mayor tanto a la actividad antioxidante en el fruto completo de zarzamora, como a la de otros residuos.

### 6.3. Valor nutricional del residuo de zarzamora

Con la finalidad de determinar el aporte nutrimental del residuo de zarzamora, en base a las IDR de acuerdo al INCMNSZ. (2000) y a Borges *et al* .(2009), y de establecer una comparación con el contenido nutrimental del fruto de zarzamora se elaboró la tabla 6.

Tal como se puede observar en la tabla 6, en cuanto al contenido nutrimental, el residuo de zarzamora presentó un 85 % más de lo cuantificado en el fruto, para el caso de proteína, lípidos y fibra dietética. De los compuestos antioxidantes el que presentó una alta retención en el residuo fue el ácido ascórbico, mientras que en los polifenoles y antocianinas fue menor. Estos compuestos retenidos en el residuo contribuyeron a que se mantuviera entre el 50 y 85 % de la actividad antioxidante de la que presentaba el fruto. Mientras que los carbohidratos totales se mantuvieron en un 64 %. La tabla también muestra que en cuanto a algunos minerales como: magnesio, potasio, calcio e hierro, el residuo de zarzamora presentó un contenido similar o menor con respecto al contenido por parte del fruto de zarzamora.

En cuanto a la composición química del residuo de zarzamora, se puede observar que 100 g de residuo aportan el cloro suficiente para cubrir la IDR de este mineral, es importante mencionar que aunque también cubre la IDR de hierro, este mineral pertenece a la clasificación de hierro "no hémico", por lo tanto le resta importancia nutrimental. De igual manera se cubre casi el 50 % de las IDR establecidas para fibra dietética total y magnesio. El mismo residuo cubre de un 20 a un 30 % las recomendaciones de consumo establecidas para los minerales fósforo y potasio y en cantidades menores cubre en un 8 y 5 % la IDR de calcio y proteína respectivamente.

**Tabla 6.** Composición química proximal del residuo de zarzamora por cada 100 g bh.

<sup>a</sup>Se refiere al porcentaje en que el contenido del residuo es mayor al contenido de la zarzamora. <sup>b</sup>Ingestas diarias

Nutriente	Zarzamora	Residuo	% <sup>a</sup>	IDR <sup>b,c</sup>	% IDR
Humedad (%)	85.4	74.8	-	-	-
Proteína (g)	1.3	2.6	87	1 g/Kg <sup>d</sup>	5
Extracto etéreo (g)	0.5	1.8	>100	-	-
Cenizas (g)	0.3	0.5	31.5	-	-
Carbohidratos totales(g)	12.2	20.1	64.7	-	-
FDT (g)	3.9	12.4	>100	25 - 30	41 - 49
CFT (mg EAG)	480.2	721.2	50.1	-	-
Antocianinas (mg Cy3GI)	68	77.9	14.5	-	-
AA (mg AA)	4.8	9.2	88.5	-	-
Cap. antiox (µmol ET)					
ABTS	85	133	56.4	-	-
DPPH	2872	5327	85.4	-	-
Fósforo <sup>e</sup>	180	190	5.5	800	23.7
Sodio <sup>e</sup>	-	10	-	1600	0.6
Magnesio <sup>e</sup>	140	110	*	225 - 280	39 - 48
Potasio <sup>e</sup>	1340	810	***	3500	23.1
Calcio <sup>e</sup>	80	80	*	1000	8
Hierro <sup>e</sup>	160	30	*	10 - 15	200 -300
Cloro <sup>e</sup>	40	60	50	-	120

recomendadas según Bourges *et al.*, 2009.<sup>g</sup>IDR por el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán de energía, proteína, vitaminas y minerales para la población Mexicana. México, D.F, 2000. <sup>d</sup>Considerando un peso promedio de 52Kg. <sup>e</sup>Análisis semicuantitativo del contenido de minerales del residuo de zarzamora mediante MEB. \*El contenido del residuo es menor al contenido de la zarzamora. \*\*\*El contenido del residuo es similar al contenido de la zarzamora-Sin recomendación, sin aporte.

En general, se puede argumentar que el residuo del procesamiento de zarzamora presentó un contenido nutrimental mayor al del fruto debido a que durante la obtención del jugo, es extraída la parte soluble, obteniendo como residuo un producto sólido en el cual se encuentran concentrados nutrientes principalmente carbohidratos, que incluyen fibra en gran parte. Y esta última actúa como acarreador de compuestos bioactivos según lo expresado por Goñi y Hervert – Hernández. (2011).

#### **6.4. Propiedades físicas**

La determinación de las características físicas en las frutas es de gran importancia, ya que son factores que determinan aspectos tan relevantes como calidad sensorial, calidad comercial, calidad nutricional e índice de madurez (Alia *et al.*, 2007). Es por ello que a las muestras de este estudio se les determinó sus propiedades físicas.

##### **6.4.1. Color**

El color atractivo que presentan la zarzamora y el residuo está relacionado con su contenido de antocianinas. Estos pigmentos naturales son responsables del color rojo intenso a colores azules o morados de muchas frutas y verduras (Rodríguez *et al.*, 2010).

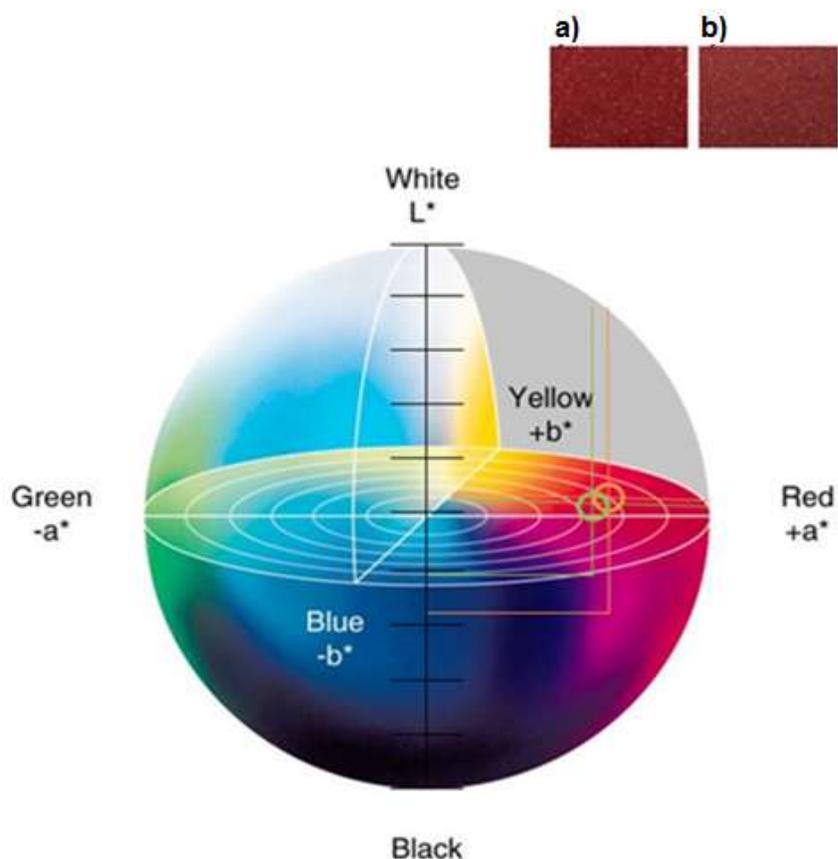
Los resultados de la determinación del color en las muestras de estudio se muestran en la tabla 7 y figura 9. Las muestras presentaron colores rojizos, presentándose una mayor concentración del color en el fruto de la zarzamora, lo cual se indica con un mayor valor de “L” (39.11), y menores valor de “a” y “b” (32.12 y 11.95 respectivamente).

**Tabla 7.** Color de la zarzamora y del residuo.

Parámetro	Zarzamora	Residuo
$L^*$	$32.6 \pm 0.01^{***}$	$39.11 \pm 0.01$
$a^*$	$36.54 \pm 0.02^{***}$	$32.12 \pm 0.02$
$b^*$	$13.06 \pm 0.05^{***}$	$11.95 \pm 0.04$
Tonalidad ( <i>Hue</i> )	$0.34 \pm 0.00^{***}$	$0.35 \pm 0.00$
Cromaticidad ( <i>Chroma</i> )	$38.81 \pm 0.03^{***}$	$34.27 \pm 0.02$

El asterisco indica diferencias significativas entre las muestras (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.0001$ ).

En cuanto a tonalidad, tanto la zarzamora como el residuo presentaron un valor muy cercano a  $0^\circ$  lo cual las sitúa dentro de los rojos puros. Con respecto al parámetro de cromaticidad la zarzamora se ubica en el punto 38, lo cual en conjunto con los parámetros anteriores indica que el color de la zarzamora corresponde a un rojo puro intenso. El residuo se ubica en el punto 34 de cromaticidad, lo cual indica que su color rojo puro es menos intenso que el de la zarzamora. Lo anterior puede ser debido a que el residuo además de remanentes de piel y pulpa también está formado por semillas, las cuales presentan una coloración amarilla y de este modo el color del residuo se ve disminuido.



**Figura 9.** Esquema de parámetros de color por  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , de a) Zarzamora, b) Residuo.

Dónde:

- Corresponde al color de la zarzamora
- Corresponde al color del residuo

#### 6.4.2. Propiedades funcionales de la fibra

Como se ha mencionado en apartados anteriores la zarzamora y el residuo presentaron un alto contenido de fibra, es por ello que se determinaron sus propiedades funcionales, cuyos resultados se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8.** Propiedades funcionales de la fibra de zarzamora y del residuo.

Propiedad funcional	Zarzamora	Residuo
CRA (%)	122.66 ± 5.68**	183.33 ± 2.88
CH (mL/g)	2.75 ± 0.13*	3.07 ± 0.06
Viscosidad (Mpa)	18.67 ± 1.05**	13.32 ± 1.05

El asterisco indica diferencias significativas entre las muestras (\*p < 0.05, \*\*p < 0.01, \*\*\*p < 0.0001).

Las propiedades funcionales de la fibra (CRA y CH) juegan un papel importante en todas las funciones del sistema digestivo, desde la masticación, hasta la formación de heces (Escudero y González, 2006). La CRA está relacionada con el contenido de fibra insoluble y la CH con la concentración de fibra soluble. Los resultados de la determinación de estas propiedades se muestran a continuación:

- CRA. De acuerdo a los resultados encontrados (Tabla 8), la zarzamora presentó una menor capacidad para retener agua (122 %), en comparación con el residuo, en el cual se encontró hasta un 183 % de esta propiedad. En general, se puede decir que tanto la zarzamora como su residuo presentan una importante CRA (Abarca y Hernán, 2010). Esta propiedad funcional le otorga al residuo importantes beneficios en la prevención y tratamiento de trastornos intestinales, tal como constipación, diverticulitis y hemorroides (Pak, 2000; Escudero y González, 2006; Raghavendra *et al.*, 2006).
- CH. La capacidad de hinchamiento también fue mayor en el residuo que en el fruto de zarzamora, lo cual puede deberse a las diferentes estructuras químicas que presenta (Vetter y Kunzek, 2002). Esta alta capacidad de hinchamiento de la fibra dietética del residuo, ayudaría en la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, obesidad y sobrepeso, ya que al hincharse incrementa la sensación de saciedad y dificulta la absorción de lípidos y glucosa, entre otros (McDougall *et al.*, 1996; Goñi y Martín - Carrón, 1998).

Debido a que el contenido de fibra en el residuo se presentó tres veces mayor a la zarzamora, las propiedades de hidratación relacionadas con la fibra dietética presentaron un mayor valor en el residuo.

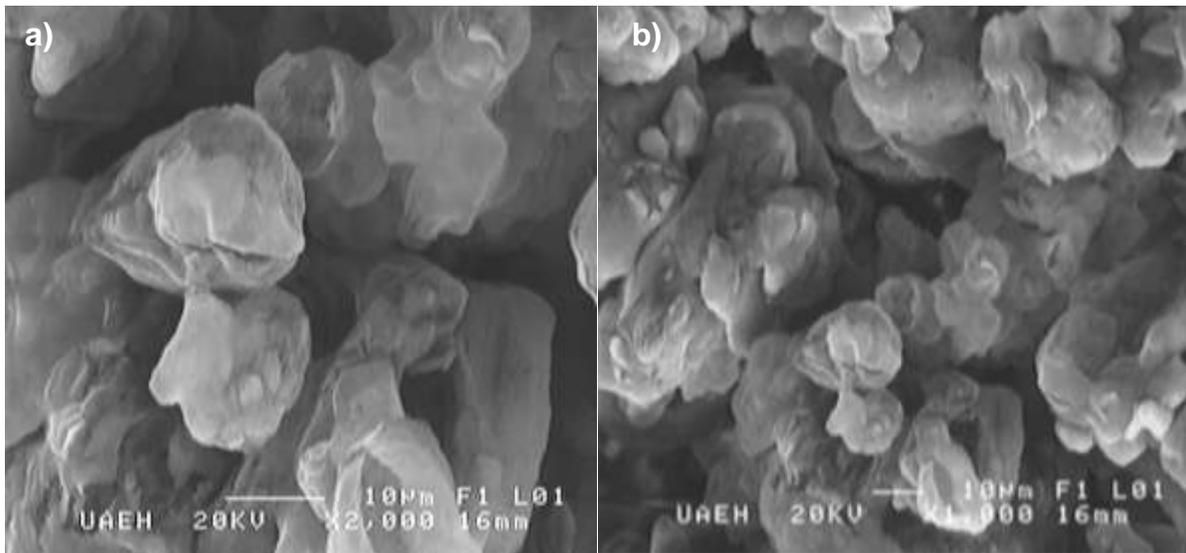
#### **6.4.3. Viscosidad**

La zarzamora se caracteriza por tener una vida corta de anaquel (Chávez *et al.*, 2000), por lo que un gran porcentaje del fruto cosechado es procesado. La determinación de la viscosidad constituye un aspecto importante en la calidad del producto procesado. Esta propiedad está relacionada con las características de cada uno de los polisacáridos presentes en la muestra, principalmente fibras solubles como pectinas, hemicelulosas y gomas, las cuales son utilizadas como agentes espesantes en la industria alimentaria (Dongowski *et al.*, 2005). En este estudio se encontró que la viscosidad fue mayor en la zarzamora que en su residuo (18.67 y 13.32 Mpa, respectivamente), lo cual indica que la mayor parte de compuestos solubles que forman geles, como pectinas y compuestos de bajo peso molecular fueron extraídos con el jugo.

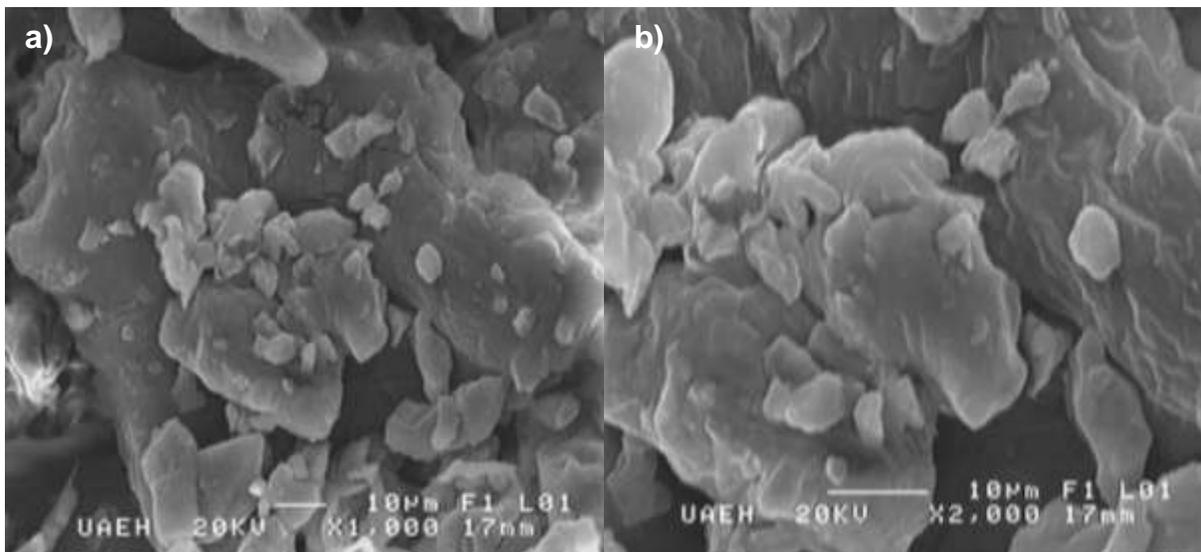
#### **6.4.4. Microscopio electrónico de barrido**

En las figuras 10 y 11, se presentan las micrografías obtenidas por el microscopio electrónico de barrido (MEB), tanto de la zarzamora como del residuo a 1000X y 2000X. En las micrografías correspondientes al fruto de zarzamora (10a y 10b) se identifican estructuras con una pared celular bien definida, característico de las plantas en su estado fresco. También se pueden apreciar almidones y arreglos estructurales de las fibras conformadas por celulosa, hemicelulosa y lignina principalmente. En cuanto a las figuras correspondientes al residuo (11a y 11b), se observan formas irregulares, cilíndricas y poliédricas, destacando los gránulos de almidón alterados con adherencias proteicas, además de un alto contenido de fibra.

La desorganización de estructuras que se observan en el residuo fue probablemente provocada por el rompimiento de estructuras debido al procesamiento del fruto para la obtención de jugo de zarzamora. Estos resultados encontrados para zarzamora procesada fueron similares a las micrografías tomadas en granos de cebada por Olvera *et al.* (2012), en las cuales encontró una desorganización de la estructura celular, con adherencias proteicas posterior a la molienda del grano de cebada.



**Figura 10.** Microscopía electrónica de barrido de zarzamora a) 1000X, b) 2000 X.



**Figura 11.** Microscopía electrónica de barrido del residuo a) 1000X, b) 2000X.

## 7. CONCLUSIONES

- La zarzamora presentó una composición química proximal característica de los productos vegetales, con un alto contenido de humedad (85.4 %), carbohidratos (12.2 %) y fibra (3.9 %).
- El residuo obtenido del procesamiento de jugo de zarzamora presentó una composición química proximal mayor a la del fruto sin procesar, destacando un mayor contenido de carbohidratos (20.1 %) y de FDT (12.4 %), con menor contenido de humedad (74.8 %).
- La zarzamora presentó un contenido considerable de compuestos fenólicos totales (480.2 mg EAG/100 g bh), ácido ascórbico (4.8 mg/100 g), antocianinas (66.8 mg Cy3GI) contribuyendo a la actividad antioxidante (ABTS 85  $\mu$ mol ET y DPPH 2872  $\mu$ mol ET) de este fruto.
- En el residuo de zarzamora, se encontraron en mayor concentración los compuestos fenólicos (721.2 mg EAG/100 g bh), ácido ascórbico (9.2 mg/100 g bh) y antocianinas (76.6 mg Cy3GI), y por lo tanto, también se presentó una mayor actividad antioxidante en comparación con el fruto.
- La zarzamora presentó un color rojizo característico de este fruto, con buenas propiedades de hidratación y viscosidad debido a su contenido de fibra.
- El residuo de zarzamora presentó un color rojizo menos intenso, y debido a su mayor contenido de fibra presentó mejores propiedades de hidratación en comparación con el fruto.
- En el estudio de MEB, se observó que el procesamiento de la zarzamora ocasionó una desorganización de las estructuras celulares principalmente de fibra y almidón.

*Este trabajo contribuye a demostrar que el residuo del procesamiento del fruto de zarzamora constituye una importante fuente de nutrientes y compuestos bioactivos. Por lo que la utilización de este residuo como alimento debe ser considerado y revalorizado para ser utilizado como ingrediente funcional de un alimento en lugar de ser desechado. Contribuyendo a la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, sobrepeso y obesidad y trastornos intestinales, mejorando el estado de salud de la población.*

*Por lo tanto, para la revalorización de este residuo, será necesario completar con estudios in vivo, que permitan ampliar el conocimiento sobre este residuo y pueda ser añadido a otros alimentos.*

---

## 8. REFERENCIAS

Abarca, R., y Hernán, D. 2010. Identificación de fibra dietaría en residuos de cacao (*Theobroma cacao L.*). Complejo nacional por trinitario. Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

Ajila, C., Aalami, M., Leelavathi, K., y Rao, U. 2010. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innov Food Sci Emerg.* 11(1):219 - 224.

Alia, T., Villanueva, A., Pelayo, Z., Colinas, L., López, M., y Bautista, B. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore y Stearn). *Postharvest Biology and Technology.* 45(3):285 - 297.

Amakura, Y., Umino, Y., Tsuji, S., y Tonogai, Y. 2000. Influence of jam processing on the radical scavenging activity and phenolic content in berries. *J. Agric. Food Chem.* 48(12):6292 - 6297.

Antolovich, M., Prenzler, P., Patsalides, E., McDonald, S., y Robards, K. 2002. Methods for testing antioxidant activity. *Analyst.* 127(1):183 - 198.

AOAC, 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th ed. Gaithersburg, MD: AOAC International.

Araya, H., Clavijo, C., y Herrera, C. 2006. Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivados en Chile. *Arch. Latinoam. Nutr.* 56(4):361 - 365.

Arellano, M., y Díaz, A. 2012. Determinación de los parámetros fisicoquímicos en la elaboración de una jalea a base de zarzamora. Tesis de Ingeniería en Alimentos. Universidad Veracruzana. Orizaba, Ver.

Argote, H. 2012. Interacciones causales del necrosamiento de yemas florales en zarzamora "Tupy". COLPOS.

Arnao, M. 2000. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. *Trends Food Sci. Technol.* 11(11):419 - 421.

- Ayala - Zavala, J., Rosas - Domínguez, C., Vega - Vega, V., y González - Aguilar, G. 2010. Antioxidant enrichment and antimicrobial protection of fresh - cut fruits using their own byproducts: Looking for integral exploitation. *J. Food Sci.* 75(8): R175 - R181.
- Badui, D. 2006. Química de los Alimentos. Editorial Pearson Educación, México.
- Benvenuti, S., Pellati, F., Melegari, M., y Bertelli, D. 2004. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of *Rubus*, *Ribes* and *Aronia*. *J. Food Sci.* 69(3):FCT164 - FCT169.
- Bourges, H., Casanueva, E., y Rosado, J. 2009. Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana. México, DF. Editorial Medical Panamericana.
- Brand - Williams, W., Cuvelier, M., y Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Sci. Technol.* 28(1):25 - 30.
- Cajuste, B., López, L., Rodríguez, A., y Reyes, M. 2000. Caracterización fisicoquímica de tres cultivares introducidos de zarzamora erecta (*Rubus sp*). Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Camacho, G. 1995. Obtención y conservación de pulpas. En: Conferencia de Ciencia y Tecnología de Vegetales, Bogotá DC, Universidad Nacional de Colombia. pp 129.
- Cerón, B. 2008. Extracción, caracterización y estabilidad de antocianinas y otros compuestos antioxidantes obtenidos a partir de zarzamora. Universidad de las Américas, Puebla.
- Cervantes, E. 2015. Optimización de las condiciones de termoultrasonificación del jugo de zarzamora sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo.
- Chau, C., y Huang, Y. 2003. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng. *J. Agric. Food Chem.* 51(9):2615 - 2618.

Chau, C., y Huang, Y. 2004. Characterization of passion fruit seed fibers - a potential fiber source. *Food Chem.* 85(2):189 - 194.

Chávez, O. 2011. Cultivo y manejo de la zarzamora. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán.

Cherbut, C. 1998. Fibres alimentaires: que deviant l'hypothèse de Burkitt? *Cah Nutrition Diététique.* 33:95 - 104.

Cieslik, E., Greda, A., y Adamus, W. 2006. Contents of polyphenols in fruit and vegetables. *Food Chem.* 94(1):135 - 142.

COMTRADE. 2014. United Nations Commodity Trade Statistics Database. Statistics Database. Raspberry, blackberry, mulberry and loganberry. En: <http://comtrade.un.org/db/ce/ceSnapshot.aspx?px=HS&cc=081020>. Fecha de acceso: 22 de agosto de 2014.

Cuevas, R. 2013. Evaluación del potencial nutracéutico de zarzamoras silvestres y mejoradas. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.

De Pascual, T., y Sánchez, B. 2008. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemical Review.* 7:281 - 299.

Dongowski, G., Drzikova, B., Senge, B., Blochwitz, R., Gebhardt, E., y Habel, A. 2005. Rheological behavior of  $\beta$ -glucan preparations from oat products. *Food Chem.* 93(2):279 - 291.

Dubrović, I., Herceg, Z., Jambrak, A., Badanjak, M., y Dragović – Uzelac. 2011. Effect of high intensity ultrasound and pasteurization on anthocyanin content in strawberry juice. *Food Technol. Biotechnol.* 49(2):196 - 204.

Dürüst, N., Sümengen, D., y Dürüst, Y. 1997. Ascorbic acid and elemental contents of food of Trabzon (Turkey). *J.Agric.Food Chem.* 45(6):2085 - 2087.

Escudero, Á., y González, S. 2006. La fibra dietética. *Nutr. Hosp.* 21(2):61 - 72.

Fan - Chiang, H., y Wrolstad, R. 2010. Sugar and nonvolatile acid composition of blackberries. *Journal of AOAC International.* 93(3):956 - 965.

Gámiz, E., Soriano, M., Delgado, G., Párraga - Martínez, J., y Delgado, R. 2002. Estudio morfológico de talcos con microscopio electrónico de barrido (sem). *Ars Pharm.* 43(1 - 2):23 - 35.

García, M., González, M., García, S., Mora, F., González, E., y Martínez, D. 2013. El mercado del plátano (*Musa paradisiaca*) en México, 1971 - 2017. *Agrociencia*. 47(4):399 - 410.

García, P., Bretón, L., De la Cuerda, C., y Camblor, Á. 2002. Metabolismo colónico de la fibra. *Nutr Hosp*. 17(2):11 - 16.

Garzón, G. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos. *Acta biol Colomb*. 13(3):27 - 36.

George, B., Kaur, C., Khurdiya, D., y Kapoor, H. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chem*. 84(1):45 - 51.

Giusti, M., y Wrolstad, R. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV- visible spectroscopy. *Current protocols in Food Anal. Chem*. F1.2.1 - F1.2.13.

Goñi, I., y Hervert - Hernández, D. 2011. By-Products from Plant are Sources of Dietary Fibre and Antioxidants. En *Phytochemicals-Bioactivities and Impact on Health*. Universidad Complutense de Madrid, Spain.

Goñi, I., y Martín – Carrón, N. 1998. *In vitro* fermentation and hydration properties of comercial dietary Fiber – rich supplements. *Nutrition Research*. 18(6):1077 - 1089.

Gutiérrez, E., Medina, G., Roman, M., Florez, O., y Martínez, O. 2009. Obtención y cuantificación de fibra dietaría a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. *Rev. Vitae*. 9(1):5 - 14.

Gutiérrez, R. 2014. Evaluación del efecto antidiabético del subproducto obtenido en la elaboración de jugo de mango. Tesis Doctoral. Centro Universitario Querétaro, Querétaro.

Guzmán, C. 2008. Fibra dietética. Universidad de Chile, Chile. pp 31.

Hager, T., Howard, L., y Prior, L. 2008. Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blackberry products. *J.Agric.Food Chem*. 56(3):689 - 695.

Hall, C. 2001. Origen de los antioxidantes naturales: aceites de semillas, frutos secos, cereales, legumbres, alimentos de origen animal y de origen microbiano. En:

---

Pokorny, J., Yanishlieva, N., y Gordon, M. (1ª ed), Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas. España, Acribia.

Han, X., Shen, T., y Lou, H. 2007. Dietary polyphenols and their biological significance. *Int.J.Mol.Sci.* 8(9):950 - 988.

Hassimotto, N., Mota, R., Cordenunsi, B., y Lajolo, F. 2008. Physicochemical characterization and bioactive compounds of blackberry fruits (*Rubus sp.*) grown in Brazil. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas.* 28(3):702 - 708.

Ibarra, M., Romero, V., Jaime, M., y Hurtado, B. 2013. Estudio de factibilidad para la comercialización de zarzamora en mercados internacionales *Revista Internacional Administración & Finanzas.* 6(2):57 - 71.

IDR de energía, proteína, vitaminas y minerales para la población mexicana por el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, 2000.

Ignat, I., Volf, I., y Popa, V. 2011. A critical review of methods for characterization of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chem.* 126(4):1821 - 1835.

Infante, J., y Trueba, R. 2014. Innovaciones Agrícolas para impulsar el desarrollo sustentable en los Reyes Michoacán: el caso de la zarzamora. *DELOS.* 7(20):1 - 17.

Ivanovic, J., Tadic, V., Dimitrijevic, S., Stamenic, M., Petrovic, S., y Zizovic, I. 2014. Antioxidant properties of the anthocyanin - containing ultrasonic extract from blackberry cultivar “ Ćačanska Bestrna”. *Industrial Crops and Products.* 53:274 - 281.

Jawaheer, B., Goburdhun, D., y Ruggoo, A. 2003. Effect of processing and storage of guava into jam and juice on the ascorbic acid content. *Plant Foods for Human Nutrition.* 58(3):1 - 12.

Jiménez, N., Bohuon, P., Lima, J., Dornier, M., Vaillant, F., y Pérez, A. 2010. Kinetics of anthocyanin degradation and browning in reconstituted blackberry juice treated at high temperatures (100 – 180 °C). *J. Agric. Food Chem.* 58(4):2314 - 2322.

Jonhson, I. 2001. Propiedades antitumorales de los antioxidantes. En: Pokorny, J., Yanishlieva, N., y Gordon, M. (1ª ed). Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas. España, Acribia.

Kaume, L., Howard, L., y Devareddy, L. 2011. The blackberry fruit: a review on its composition and chemistry, metabolism and bioavailability, and health benefits. *J.Agric. Food Chem.* 60(23):5716 - 5727.

Kuskoski, E., Asuero, A., Troncoso, A., Mancini - Filho, J., y Fett, R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc.Tecnol.Aliment.* Campinas. 25(4):726 - 732.

Lajolo, S., y Wenzel, D. 1998. Temas en tecnología de alimentos. En: Fibra dietaria.: Instituto Politécnico Nacional, México. pp 29 – 42.

Lako, J., Trenerry, V., Wahlqvist, N., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., y Premier, R. 2007. Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chem.* 101(4):1727 - 1741.

Lapornik, B., Prošek, M., y Wondra, A. 2005. Comparison of extracts prepared from plant by - products using different solvents and extraction time. *Journal of Food Engineering.* 71(2):214 - 222.

Larrosa, M., Llorach, R., Espín, J., y Tomás - Barberán, F. 2002. Increase of antioxidant activity of tomato juice upon functionalisation with vegetable byproduct extracts. *LW -Food Science and Technology.* 35(6):532 - 542.

Lee, H., Pan, C., Kim, E., y Kim, C. 2012. Online high performance liquid chromatography (HPLC) - ABTS+ based assay and HPLC - electrospray ionization mass spectrometry analysis of antioxidant phenolic compounds in *Salsola komarovii*. *J Korean Soc. Appl Biol. Chem.* 55(2):317 - 321.

Lee, T., McGlasson, W., Hall, E., Graham, D., y Justino tr Burgos, G. 1984. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas post-recolección. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. pp 195.

López, V., y Marcos, A. 1999. La fibra de cada día. *Cuadernos de Nutrición.* 22(3):109 - 114.

Martínez - Flóres, S., González-Gallego, J., Culebras, J., y Tuñón, M. 2002. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutr. Hosp.* 17(6): 271 - 278.

Matos, C., y Chambilla - Mamani, E. 2010. Importancia de la Fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1(1):4 - 17.

McDougall, G., Morrison, I., Stewart, D., y Hillman, J. 1996. Plant cell walls as dietary fiber: range, structure, processing and function. *J.Sci.Food Agric*. 70(2):133 - 150.

Meyer, D., y Tunland, B. 2001. Non-digestible oligosaccharides and polysaccharides: their physiological effects and health implications. In: *Advanced Dietary Fiber Technology*. Edited by McCleary, B., y Prosky, L. Blackwell Science.

Milena, S., Montoya, L., y Orozco, F. 2008. Valorización de residuos agroindustriales de frutas en Medellín y el sur del valle del aburrá, *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 61(1):4422 - 4431.

Morales, G., Medina, T., Andrade, E., Guzmán, M., y Hernández, L. 2010. Evaluación de los efectos del secado por aspersion sobre los compuestos fitoquímicos funcionales y características fisicoquímicas en encapsulados de zarzamora (*Rubus sp.*). Universidad de Guanajuato, Guanajuato.

Morales, F., y Jiménez - Pérez, S. 2001. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to color and fluorescence. *Food Chem*. 72(1):119 - 125.

Morales, T. 2009. México campeón mundial en exportación de zarzamoras. *Mercados Especiales*. pp 59 - 62.

Moreno - Álvarez, M., Vilorio, A., López, E., y Douglas, B. 2002. Estabilidad de antocianinas en jugos pasteurizados de mora (*Rubus glaucus Benth*). *Arch. Latinoam. Nutr*. 52(2):181 - 186.

Moure, A., Cruz, J., Franco, D., Domínguez, J., Sineiro, J., Domínguez, H., Núñez, M., y Parajó, J. 2001. Natural antioxidants from residual sources. *Food Chem*. 72(2):145 - 171.

Muñoz, J., Ramos - Escudero, D., Alvarado - Ortiz, U., y Castañeda, C. 2007. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Rev.Soc.Quím.Perú*. 73(3):142 - 149.

---

Ochoa, A. 1998. Aceites esenciales. El aroma de la naturaleza. Agencia AUPEC, Universidad del Valle, Cali.

Olivera, F. 2013. Evaluación de subproducto obtenido en la elaboración de jugos de mango y guayaba como fuente de fibra antioxidante. Tesis de Doctorado.

Olvera, C., Rodríguez - Sanoja, R., Prieto, G., y Román, G. 2012. Caracterización física y química proximal de paja, grano y almidón de cebada de la variedad esmeralda. *Bio/Technol.* 16(3):9 - 20.

Omaña, M., Cortes, F., Isáza, C., y García, A. 2010. Isotermas de sorción de agua en residuos de extracción de jugo de naranja. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 8(1):61 - 67.

Pak, D. 2000. La fibra dietética en la alimentación humana, importancia en la salud. *Anales de la Universidad de Chile.* 11(6):73 - 77.

Paleta, P. 2012. Jornaleros agrícolas en el cultivo de zarzamora en el valle de los Reyes, Michoacán, México. *Revista de antropología experimental.* 12(2):17 - 28.

Pantastico, B. 1979. Fisiología de la post - recolección, manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Compañía Editorial Continental S.A. México. pp 663.

Pantelidis, G., Vasilakakis, M., Manganaris, G., y Diamantidis, G. 2007. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food Chem.* 102(3):777 - 783.

Parra, Q., Rodríguez, O., y González, H. 1999. Transpiración, potencial hídrico y prolina en zarzamora bajo déficit hídrico. *TERRA.* 17(2):125 - 130.

Pasquel, R., da Fonseca, M., Barbero, G., Rezende, C., y Martínez, J. 2014. Extraction of antioxidant compounds from blackberry (*Rubus sp.*) bagasse using supercritical CO<sub>2</sub> assisted by ultrasound. *J. of Supercritical Fluids.* 94:223 - 233.

Patras, A., Brunton, N., Da Pieve, S., y Butler, F. 2009. Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and color of strawberry and blackberry purées. *Innovat Food Sci Emerg Tech.* 10(3):308 - 313.

Picolli, L., y Santorio, M. 2005. Total, insoluble and soluble dietary fiber values measured by enzymatic-gravimetric method in cereal grains. *J. Food Comp. Anal.* 18(1):113 - 120.

Plaza - Díaz, J., Martínez, O., y Gil, Á. 2013. Los alimentos como fuente de mono y disacáridos: aspectos bioquímicos y metabólicos. *Nutr Hosp.*28(4):5 - 16.

Plessi, M., Bertelli, D., y Albasini, A. 2007. Distribution of metal and phenolic compounds as a criterion to evaluate variety of berries and related jams. *Food Chem.* 100(1):419 - 427.

Raghavendra, S., Ramachandra, S., Rastogi, N., Raghavarao, K., Kumar, S., y Tharanathan, R. 2006. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *J. Food Eng.* 72(3):281 - 286.

Ramírez, A., y Pacheco, E. 2009. Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 34(4):293 - 298.

Ramírez - Moreno, E., Marqués, C., Sánchez-Mata, M., y Goñi, I. 2011. *In vitro* calcium bioaccessibility in raw and cooked cladodes of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). *Food Science and Technology.* 44(7):1611 - 1615.

Ramulu, P., y Udayasekhara, P. 2003. Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *J. Food Comp. Anal.* 16(6):677 - 685.

Reglamento (CE) No. 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo del 20 de diciembre del 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine.* 26(9):1231 - 1237.

Rieger, M. 2006. Blackberries and Raspberries (*Rubus sp.*). Introduction to Fruit Crop. University of Georgia.

Rincón, M., Reyes, S., Rodríguez, G., y González, S. 2015. Producción de Zarzamora (*Rubus sp*) var. Tupy con Fertilización Química y Orgánica Bajo Condiciones de Macro Túnel. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

---

Robards, K., Prentzler, P., Tucker, G., Swatsitang, P., y Glover, W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chem.* 66(4):401 - 436.

Rodríguez, G., Guzmán, M., Andrade, E., y Hernández, L. 2010. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de jugo obtenido mediante el tratamiento enzimático en zarzamora comercial (*Rubus sp.*) del estado de Michoacán. *XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología De Alimentos*:FH851 - FH8520.

Rodríguez, R., Jiménez, A., Fernández - Bolaños, J., Guillén, R., y Heredia, A. 2006. Dietary fiber from vegetables products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology.* 17(1):3 - 15.

Sánchez - Zapata, E., Fuentes - Zaragoza, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., y Pérez - Álvarez, J. 2009. Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk ("Horchata") byproducts and its physicochemicals properties. *J. Agric. Food Chem.* 57(17):7719 - 7725.

Saura - Calixto, F., Serrano, J., y Goñi, I. 2007. Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *J. Food. Chem.* 101(2):492 - 501.

Savikin, K., Zdunić, G., Janković, T., Tasić, S., Menković, N., Stević, T., y Dordević, B. 2009. Phenolic content and radical scavenging capacity of berries and related jams from certificated area in Serbia. *Plant Foods Hum Nutr.* 64(3):212 - 217.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca - SAGARPA. 2008. Lombicultura y alimentación. Texcoco, Estado de México. México. En: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/publicaciones/fichas/listafichas/T-6-01.pdf>. Fecha de acceso: 18 de agosto de 2014.

Sellappan, S., Akoh, C., y Krewer, G. 2002. Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-Grown blueberries and blackberries. *J. Agric. Food Chem.* 50(8):2432 - 2438.

SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En: [www.siap.gob.mx/cierre-de-la-producción-agrícola-por-estado/](http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-producción-agrícola-por-estado/). Fecha de acceso: 22 de agosto de 2014.

---

Solana, J. 2012. Geología Regional y Petrogénesis del vulcanismo silíceo de la región circundante a la ciudad de Tulancingo Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo.

Sousa, M., Canet, W., Alvarez, M., y Fernández, C. 2007. Effect of processing on the texture and sensory attributes of raspberry (*cv. Heritage*) and blackberry (*cv. Thornfree*). *J Food Eng.* 78(1):9 - 21.

Stintzing, F., Herbach, K., Moshhammer, M., Carle, R., Yi, W., Sellapa, S., Akoh, C., Brunch, R., y Felker, P. 2005. Color, betalains pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia spp*) clones. *J Agric. Food Chem.* 53(2):442 - 451.

Stintzing, F., Stintzing, A., Carle, R., Frei, B., y Wrolstad, R. 2002. Color and antioxidant properties of cyanidin - based anthocyanin pigments. *J. Agric. Food Chem.* 50(21):6172 - 6181.

Talcott, S. 2007. Chemical components of berry fruits. In: Berry fruit, Value - Added Products for Health Promotion. Yanyun, Z. Editor. pp 51 – 72.

Tamayo, Y., y Bermúdez, A. 1998. Los residuos vegetales de la naranja como fuente de fibra dietética. *Fibra dietética.* 2(286):181 - 189.

Tiwari, B., O'Donnell, C., y Cullen, P. 2009b. Effect of sonication on retention of anthocyanins in blackberry juice. *Journal of Food Engineering.* 93(2):166 - 171.

Tiwari, B., O'Donnell, C., y Cullen, P. 2009c. Effect of non thermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science & Technology.* 20(3 - 4):137 - 145.

Torres, S., Burgos, A., y Borrero, P. 1995. Ingeniería y agroindustria: Enciclopedia agropecuaria terranova. Editorial Terranova. Bogotá, Colombia.

Tungland, C., y Meyer, D. 2002. Nondigestible oligo and polysaccharides (Dietary Fiber): their physiology and role in human health and food. *Comprehensive. Reviews in food science and food safety.* 1(3):90 - 109.

U.S. Department of Agriculture national nutrient database for standard reference, (USDA).<http://www.nal.usda.gov/fnic/foof-comp/search/>,2010. Fecha de acceso: 30 de mayo de 2014.

---

Valencia, C., y Guevara, A. 2013. Variación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos durante el procesamiento del néctar de zarzamora (*Rubus fruticosus L.*). *Rev. Soc. Quím. Per.* 79(2):116 - 125.

Wang, L., y Stoner, D. 2008. Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer letter.* 269(2):281 - 290.

Widmer, W. 2003. Dietary Fiber and Other Products from Complex Carbohydrates in Citrus Processing Waste. Annual Meeting of the Institute of Food Technologists. pp 46.

Wildman, E. 2001. Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods. CRC Press. Boca Ratón.

Wong, K., y Cheung, P. 2005. Dietary fibers from mushroom sclerotia: I. Preparation and physicochemical and functional properties. *J. Agri Food Chem.* 53(24):9395 - 9400.

Wu, X., y Prior, R. 2005. Systematic identification and characterization of anthocyanins by HPLC-ESI-MS/MS in common foods in the United States: fruits and berries. *J. Agric. Food Chem.* 53(7):2589 - 2599.

Yoshimoto, M., Yamakawa, O., y Tanoue, H. 2005. Potencial chemopreventive properties and varietal difference of dietary fiber from sweetpotato (*Ipomea batatas L.*) root. *Jap. Agric. Res. Quart.* 39(1):37 - 43.

Zhang, Z., Kou, X., Fugal, K., y McLaughlin, J. 2004. Comparison of HPLC methods for determination of anthocyanins and anthocyanidins in bilberry extracts. *J. Agric. Food Chem.* 52(4):688 - 691.

Zúñiga, M., y Cecilia, M. 2005. Caracterización de fibra dietaría en orujo y capacidad antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva. Universidad de Chile, Chile. pp 68.