



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

**CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE CUATRO
SEGREGANTES DE CAPULÍN (*Prunus serotina*), EN FRESCO Y
PROCESADO**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

Presenta:

OMAR CASTILLO GARCÍA

Bajo la supervisión de:

MARÍA DEL ROSARIO GARCÍA MATEOS, DRA.



DIRECCION GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
DIVISION DE EXAMENES PROFESIONALES

Programa de Posgrado en



Ciencia y Tecnología Agroalimentaria

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2016.

CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE CUATRO
SEGREGANTES DE CAPULÍN (*Prunus serotina*), EN FRESCO Y
PROCESADO.

Tesis realizada por **Omar Castillo García** bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener
el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**

Director:



Dra. María del Rosario García Mateos

Asesor:



Dra. Ana María Castillo González

Asesor:



Ph. D. Ma. Carmen Ybarra Moncada

Asesor:



Dr. J. Joel E. Corrales García

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
ABREVIATURAS USADAS	vii
DEDICATORIAS	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Género <i>Prunus</i>	3
2.2 Capulín (<i>Prunus serotina</i>)	3
2.2.1 Clasificación taxonómica	4
2.3 Compuestos nutricionales	5
2.4 Compuestos nutracéuticos	6
2.5 Sistemas antioxidantes	7
2.6 Estrés oxidativo	8
2.6.1 Compuestos fenólicos	10
2.6.2 Vitamina C	11
2.7 Compuestos antinutricionales	13
2.7.1 Glucósidos cianogénicos	13
2.8 Literatura Citada	16
3. CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE CUATRO SEGREGANTES DE CAPULÍN (<i>Prunus serotina</i>), EN FRESCO Y PROCESADO.	19

3.1	Introducción	21
3.2	Materiales y métodos.....	22
3.2.1	Material de estudio	22
3.2.2	Diseño experimental.....	23
3.2.3	Tratamiento térmico	24
3.2.4	Caracterización físico – química.....	25
3.2.5	Parámetros de color	25
3.2.6	Cuantificación de minerales	25
3.2.7	Análisis proximal	26
3.2.8	Cuantificación de nutraceuticos.....	26
3.2.9	Evaluación de capacidad antioxidante.....	29
3.2.10	Determinación de glucósidos cianogénicos.....	30
3.3	Resultados y discusión	30
3.3.1	Propiedades físico – químicas.....	30
3.3.2	Parámetros de color	33
3.3.3	Análisis proximal	35
3.3.4	Contenido de nutraceuticos.....	39
3.3.5	Capacidad antioxidante	42
3.3.6	Compuestos antinutricionales	44
3.4	Análisis de componentes principales	45
3.5	Conclusiones	46
3.6	Recomendaciones	47
3.7	Literatura citada	47

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido nutricional del fruto de capulín.	5
Cuadro 2. Clasificación de los sistemas antioxidantes.	8
Cuadro 3. Especies reactivas del oxígeno.	9
Cuadro 4. Clasificación de los compuestos fenólicos.	10
Cuadro 5. Estructura química de algunos glucosidos cianogénicos.	14
Cuadro 6. Análisis estadístico para cada variable respuesta.	24
Cuadro 7. Atributos físicos de frutos frescos (F) de cuatro segregantes de capulín (<i>Prunus serotina</i>).	31
Cuadro 8. Atributos físicos de semillas de cuatro segregantes de capulín (<i>Prunus serotina</i>).	31
Cuadro 9. Contenido de Sólidos Solubles Totales (°Brix) y pH en frutos frescos (F) de cuatro segregantes de capulín (<i>Prunus serotina</i>).	32
Cuadro 10. Atributos de color en frutos frescos (F) de cuatro segregantes de capulín (<i>Prunus serotina</i>).	33
Cuadro 11. Contenido de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu y B (mg 100 g ⁻¹ p.f.) en frutos frescos (F) de cuatro segregantes de capulín (<i>Prunus serotina</i>).	34
Cuadro 12. Niveles de significancia, R ² , coeficiente de variación y significancia de los factores (A y B) y su interacción (A*B), en las variables respuesta que fueron analizadas mediante el diseño factorial 4 x2.	35
Cuadro 13. Análisis proximal (%) de los frutos frescos (F) y procesados (P) de cuatro segregantes de capulín (<i>Prunus serotina</i>).	38
Cuadro 14. Contenido de compuestos nutraceuticos en frutos fresco (F) y procesado (P) de cuatro segregantes de capulín (<i>Prunus serotina</i>) por cada 100 g de peso fresco.	39
Cuadro 15. Contenido de capacidad antioxidante (Método ABTS●+) (μmol ET100 g ⁻¹ p.f.) y (%) de Inhibición de radicales libres en frutos frescos (F) y procesados (P) de cuatro segregantes de capulín (<i>Prunus serotina</i>).	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre los nutracéuticos y otros productos para la salud.	6
Figura 2. Ruta de biosíntesis de los compuestos fenólicos a partir de la ruta del ácido shikimico y fenilalanina. Fuente: Ávalos & Pérez-Urria, 2009.....	11
Figura 3. Oxidación de la vitamina C. Fuente: García <i>et al.</i> , 2006.....	12
Figura 4. Biosíntesis de los glucósidos cianogénicos.....	15
Figura 5. Catabolismo de los glucósidos cianogénicos.	16
Figura 6. Identificación cualitativa por CCF de glucósidos cianogénicos en (A) la almendra del hueso (+) y (B) pulpa de fruto (-).	44
Figura 7. Análisis de componentes principales de los frutos frescos de los cuatro segregantes de capulín.....	45

ABREVIATURAS USADAS

%	Porcentaje	g	Gramos
&	Conjunción	g ⁻¹	Gramos
°C	Grados centígrados	h	Hora
AA	Ácido ascórbico	h	Horas
ABTS	Ácido 2,2'-azino-bis-(3etilbenzotiazolin)-6sulfónico	H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
AF	Absorbancia final	HCl	Ácido clorhídrico
AI	Absorbancia inicial	HClO ₄	Ácido perclórico
ANOVA	Análisis de varianza		Espectrofotómetro de Emisión Atómica de Plasma por Inducción Acoplada
AO	Antioxidante	ICP-AES	
AOAC	Association of Official Analytical Chemists	K	Potasio
At	Absorbancia total	K ₂ S ₂ O ₄	Persulfato de potasio
B	Boro	KCl	Cloruro de potasio
C	Cenizas	L	Lípidos
cm	Centímetro	M	Mol por litro
C ₂ H ₃ O ₂ Na.3H ₂ O	Acetato de sodio	MeOH	Metanol
Ca	Calcio	mg L ⁻¹	Miligramo por litro
CH ₃ COOH	Ácido acético	Mg	Magnesio
CT	Carbohidratos totales	min	Minuto
Cu	Cobre	min	Minutos
EAG	Equivalentes de ácido gálico	mL	Mililitro
EQ	Equivalentes de quercetina	µmol	Micro mol
ET	Equivalentes de trolox	N	Nitrógeno
F	Fresco	Na	Sodio
FC	Fibra Cruda	P	Fosforo
FD	Factor de dilución	P5-1	Puebla 5-1
Fe	Hierro	P5-3	Puebla 5-3
FeCl ₃ .6H ₂ O	Cloruro de hierro	P5-18	Puebla 5-18
G	Constante gravitacional	P5-28	Puebla 5-28
g mol ⁻¹	Gramo por mol	PC	Proteína Cruda
g	Gramo	Pro	Procesado
		p.f.	Peso Fresco
		V.R.	Variable respuesta
		Zn	Zinc

DEDICATORIAS

A mi madre Virginia García Reyes, por el ejemplo que me dejó en vida, por enseñarme a nunca rendirme, a perseverar a pesar de las dificultades para ser un mejor profesionalista, pero sobre todo, ser un mejor ser humano.

A mi padre J. Guadalupe Castillo Narvárez por su apoyo incondicional, sus sacrificios y esfuerzos realizados para motivarme a ser alguien en la vida.

A mis hermanos Aarón y Sinuhe, por su compañía y apoyo constante en cada una de las etapas y proyectos que he emprendido.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haber financiado mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por haberme recibido, por ser mí casa, mi conducto y mi camino hacia el conocimiento y la sabiduría, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de México (COMECyT) por el apoyo económico otorgado para concluir la tesis de posgrado.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, por la donación del material vegetal para realizar esta investigación.

A la Dra. María del Rosario García Mateos por su apoyo, dirección, conocimientos, confianza y paciencia en todo momento.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada, la Dra. Ana María Castillo González y al Dr. Joel Corrales García, por su confianza y su apoyo constante, sin ustedes no habría sido posible.

Al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz y al M. C. Alfonso Muratalla Lúa, Profesores Investigadores del Colegio de Postgraduados del área de fruticultura por su apoyo en la gestión del material vegetativo, esencial para esta investigación.

A mi familia, por su paciencia y apoyo incondicional en las buenas y en las malas, por las desveladas, la motivación y el ánimo de seguir creciendo como persona y como profesional.

Aquellos que me brindaron su apoyo para desarrollar y culminar esta investigación:

A los productores de capulín del Municipio de Atlautla de Victoria, en el Estado de México, por su hospitalidad, por permitirme conocer de cerca la vida y las actividades cotidianas de los productores de esta región.

Al M.C. Antonio Cortés Jiménez y al personal del Herbario de Preparatoria Agrícola, UACH, por la buena disposición, asesorías y apoyo brindado.

Al I.B.Q. Félix Esparza Torres y a Doris Pérez Ayala del Laboratorio de Análisis de Alimentos, por su buena disposición, facilidades y apoyo brindado para realizar los análisis bromatológicos.

A la Dra. Nallely Rosalba Román Cortes, por su ayuda y orientación durante mi investigación, pero sobre todo por su amistad y calidez humana.

A mis amigos y a las personas que vivieron conmigo este proceso, particularmente a Alma Yeni Arriaga, Cristóbal, Lyzbeth Hernández, Leidy Laura, Donaji Zurita, Sinai Ambriz, Wendoli Carrasco, Federico Rivero, Eduardo Vicuña, Renán Vergara, Areli, Cristian, Gabriel, Omar, Eduardo, Ariel, Maricarmen, Ramón, Tere, José Cruz y Samuel.

A mis amigas y compañeras del posgrado Donaji Zurita y Sinai Ambriz.

Gracias por apoyarme, escucharme y motivarme a continuar hacia adelante, siempre a ser mejor, gracias por acompañarme a lo largo de esta etapa.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Omar Castillo García

Fecha de nacimiento: 20 de diciembre de 1989

Lugar de nacimiento: Texcoco, Estado de México

No. Cartilla militar: 0282513

CURP: CXGO891220HMCSR07

Profesión: Ingeniero Agroindustrial

Cédula profesional: 08789436

Desarrollo académico:

Bachillerato: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El capulín (*Prunus serotina*) pertenece a la familia *Rosaceae* y al género *Prunus*, donde se encuentran más de 200 especies de importancia comercial como la cereza, durazno, ciruela, entre otras, denominadas frutas de hueso. No se han encontrado estudios genéticos, ni taxonómicos recientes de esta especie (*P. serotina*), posiblemente por tratarse de un fruto silvestre y de recolección en regiones muy localizadas del país, solamente el reportado por McVaugh (1951).

En Estados Unidos de Norteamérica, el fruto de capulín es conocido como cereza silvestre o negra, en Colombia como cerezo de los Andes, cerezo en Guatemala, cerezo criollo en Venezuela y en Europa como cereza mexicana (Chávez, 1990). Es posible encontrar frutos de diferentes tamaños y con una gran diversidad de colores y sabores, muy dulces hasta ácidos y de color rojo intenso hasta casi de color negro. El aprovechamiento de sus frutos se ha realizado tradicionalmente a través de recolección (Páez-Reyes *et al.*, 2013). El fruto y las hojas del capulín han sido utilizados tradicionalmente por sus propiedades medicinales para el tratamiento de algunas enfermedades (respiratorias, cardíacas, estomacales e hipertensión) (INI, 1994; Luna-Vázquez *et al.*, 2013).

En México, el capulín es un fruto subutilizado, se consume fresco, deshidratado o bien es utilizado en la preparación de conservas (mermelada); además la semilla tostada se consume como botana (Martínez, 1959). Sin embargo, debido al desconocimiento de su calidad nutricia, nutracéutica y propiedades antinutricionales, existe la necesidad de caracterizar los frutos y determinar las

propiedades antioxidantes entre segregantes, que podrían ser consumidos como un alimento de alto valor nutracéutico para su revalorización, así como de mayor eficiencia de uso agroindustrial y brindar a los productores nuevas alternativas económicas.

El objetivo del presente estudio fue caracterizar físico-químicamente y determinar el contenido de minerales en los frutos frescos de capulín, además de evaluar el contenido de compuestos nutracéuticos, capacidad antioxidante y composición nutricional en los frutos frescos y procesados (tratamiento térmico) de cuatro segregantes de capulín.

El segundo capítulo de esta investigación contiene una recopilación bibliográfica que habla sobre el origen del capulín, taxonomía e importancia en nuestro país, además de exponer la naturaleza de diferentes metabolitos secundarios (compuestos fenólicos, vitamina C) y compuestos antinutricionales (glucósidos cianogénicos) que han sido reportados previamente por otros autores en frutos de capulín (Ibarra-Alvarado *et al.*, 2009; Jiménez, Castillo, Azuara & Beristain, 2011; Luna-Vázquez *et al.*, 2013; Ordaz-Galindo, Wexche-Ebeling, Wrolstad, Rodriguez-Saona & Argaiiz-Jamet, 1999).

El tercer capítulo aborda la descripción y comparación de las características físico – químicas, sus propiedades nutricionales y nutracéuticas y el contenido de minerales de los frutos frescos y procesados de cuatro segregantes de capulín, así como la metodología bajo la cual se realizó la presente investigación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Género *Prunus*

El género *Prunus* pertenece a la familia *Rosaceae*, comprende más de 200 especies donde están incluidos los cultivos considerados económicamente importantes como la cereza, durazno, ciruela, algunas especies ornamentales, de explotación maderable o con propósitos medicinales (Potter, 2011). Algunos miembros de este género pueden ser árboles caducifolios, perennes o arbustos alternantes y se caracterizan por producir grandes cantidades de sorbitol que funciona como transporte primario de carbohidratos y glucósidos cianogénicos alojados en la semilla de los frutos, que funcionan como un mecanismo de defensa (Petitpierre *et al.*, 2009). Las especies de este género se encuentran distribuidas en una gran variedad de hábitats, desde los desiertos hasta los bosques, respecto a la altitud, desde el nivel del mar hasta zonas alpinas, su presencia es más abundante en la zona templada del hemisferio norte, su distribución abarca América del Norte, Europa y el norte de Asia (Petitpierre *et al.*, 2009; Potter, 2011). Debido a que la mayoría de las plantaciones de las especies de importancia económica de este género se han establecido en climas templados del hemisferio norte, se ha llegado a pensar que las especies de este género únicamente pueden desarrollarse bajo estas condiciones climáticas. Sin embargo, se cuenta con el registro de 75 especies tropicales y subtropicales, incluyendo alrededor de 45 a 50 especies en el sur y este de Asia, entre 20 y 25 en centro y Sudamérica y, dos más en África (Potter, 2011).

2.2 Capulín (*Prunus serotina*)

El capulín (*Prunus serotina*), también conocido como Cereza Mexicana o Cereza Negra (Black Cherry), es una especie nativa del continente americano, de una zona que comprende desde Guatemala hasta el sureste de Canadá (McVaugh, 1951). Los frutos de capulín son esféricos de 1.5 a 2.0 cm de diámetro, contienen

una sola semilla (hueso), ésta ocupa la mayor parte del fruto, sus árboles pueden llegar a medir más de 15 m y se desarrollan principalmente a los 1200 metros sobre el nivel del mar (León, 2000).

En México, la mayoría de los árboles de capulín crecieron de manera silvestre (hace más de 30 años) a la orilla de caminos y ríos, también fueron utilizados por los agricultores como cerco vivo para delimitar sus propiedades; el aprovechamiento de sus frutos se ha realizado tradicionalmente a través de la recolección (Páez-Reyes *et al.*, 2013). Los frutos de capulín son comercializados en fresco y la semilla tostada se vende como botana, desde la época prehispánica sus frutos han sido utilizados tradicionalmente en la elaboración de productos medicinales para el tratamiento de algunas enfermedades (diarrea y tos) (INI, 1994).

2.2.1 Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica establecida por Lineo ha sido modificada constantemente con el tiempo, el último reporte actualizado corresponde al año 1951 por Robert McVaugh, enfocado principalmente en la especie *Prunus serotina* Ehrh, localizados en América del Norte.

Se muestra a continuación la clasificación taxonómica (McVaugh, 1951):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Rosales

Familia: *Rosaceae*

Subfamilia: *Amygdaloideae*

Tribu: *Amygdaleae*

Género: *Prunus*

Subgénero: *Padus*

Especie: *P. serotina*

Se han reportado cinco subespecies, (subsp. *eximia*, subsp. *hirusta*, subsp. *capuli*, subsp. *virens* y subsp. *serotina*), la subespecie *capuli* es representativa de nuestro país, aunque se podrían encontrar poblaciones de todas las variedades en el territorio nacional como lo señala McVaugh (1951).

Debido a la falta de investigaciones recientes sobre el estado taxonómico y genético de la especie *Prunus serotina* se ha utilizado el termino *segregante* que denomina a individuos que nacieron por cultivo de semilla de un mismo árbol (reproducción sexual).

2.3 Compuestos nutricionales

El fruto de capulín está constituido de azúcares, proteína, vitamina C y minerales, entre otros, además de ser una fuente complementaria de minerales en la dieta de la región del centro de México. El Cuadro 1 muestra el análisis nutrimental del fruto de capulín en peso fresco (Luna-Vázquez *et al.*, 2013).

Cuadro 1. Contenido nutricional del fruto de capulín.

Componente	Contenido
Proteína (%)	2.1
Grasas (%)	0.05
Fibra (%)	3.58
Carbohidratos (%)	12.23
Cenizas (%)	0.86
Humedad (%)	81.18
Sodio (mg * 100 g ⁻¹)	22.40
Potasio (mg * 100 g ⁻¹)	184.30
Calcio (mg * 100 g ⁻¹)	12.90
Magnesio (mg * 100 g ⁻¹)	21.20
Fósforo (mg * 100 g ⁻¹)	28.1

El contenido de carbohidratos fue determinado por el método diferencial.
Fuente: Luna-Vázquez *et al.*, 2013.

2.4 Compuestos nutraceuticos

El fruto de capulín contiene compuestos antioxidantes como antocianinas, (cianidina-3-glucósido 34 % y cianidina-3-rutinósido 63 %), las cuales están presentes con mayor abundancia en los frutos maduros y en la cáscara de los mismos (Ordaz *et al.*, 1999). El fruto de capulín presenta un alto contenido de polifenoles, que le confiere junto con las antocianinas, una buena capacidad antioxidante, además de contener compuestos con propiedades vasodilatadoras y antihipertensivas como los ácidos hiperósido y clorogénico, por lo que puede ser considerado como un alimento funcional y potencialmente útil en el tratamiento de enfermedades como la hipertensión (Luna-Vázquez *et al.*, 2013).

En las últimas décadas se han desarrollado nuevos tipos de alimentos, denominados “nutraceuticos”, los cuales han tenido gran aceptación por parte de los consumidores, basados principalmente en los beneficios que aportan a la salud además de su contenido nutricional, como la disminución del riesgo de desarrollar enfermedades crónicas degenerativas o algunas más comunes como un simple resfriado, reduciendo así los gastos médicos y generando una mejor calidad de vida en todos los sectores de la población. Los nutraceuticos se definen como compuestos medicinales o nutricionales contenidos en alimentos, plantas o materiales de origen natural los cuales pueden ser purificados o concentrados, y son utilizados para mejorar la salud, prevenir o tratar una enfermedad. La Figura 1 muestra la relación entre los nutraceuticos y otros productos para la salud (Lockwood, 2007).

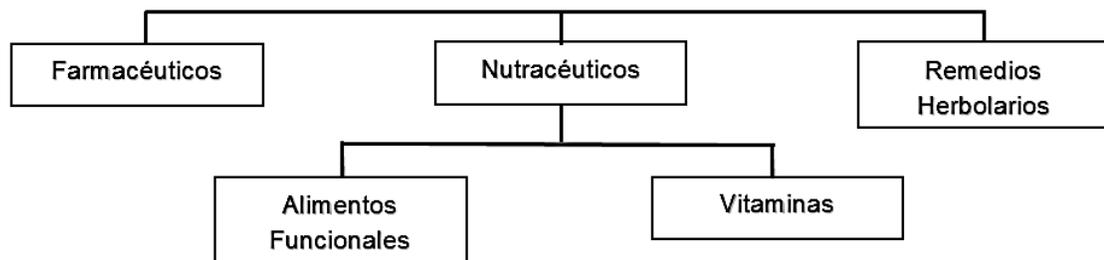


Figura 1. Relación entre los nutraceuticos y otros productos para la salud.

Hay muchos alimentos y productos nutracéuticos que han incrementado su consumo en el mercado, dentro de estos podemos encontrar los compuestos omega-3, compuestos fenólicos, carotenoides, vitaminas, fitoesteroles, ácido úrico entre otros, reconocidos principalmente por su capacidad antioxidante que neutraliza los radicales libres, previniendo daños por estrés oxidativo en la membrana celular y en el ADN (Shahidi, 2012).

2.5 Sistemas antioxidantes

Un antioxidante es una sustancia que a bajas concentraciones, comparada con el sustrato oxidable, retarda o previene significativamente la oxidación del sustrato. Estas moléculas pueden interactuar de forma segura con los radicales libres y terminar la reacción en cadena antes de que las células vitales sean dañadas (Halliwell & Gutteridge, 1999; Panglossi, 2006).

Debido a que los radicales libres tienen la capacidad de reaccionar de manera indiscriminada pueden ocasionar daños en casi cualquier parte de la célula, para contrarrestarlo existe una extensa variedad de defensas antioxidantes, tanto endógenas como exógenas, que están presentes para proteger los componentes celulares de los radicales libres, éstas se pueden dividir en tres grandes grupos: las enzimas antioxidantes, de detención o rotura de la cadena, y proteínas unidas a un metal de transición (Young & Wooside, 2001) (Cuadro 2).

Las enzimas antioxidantes se encuentran dentro de los compartimentos celulares, catalizan diferentes reacciones que transforman los radicales libres en compuestos estables, de manera similar, los compuestos antioxidantes que generan una rotura en la cadena de reacción de los radicales libres, son moléculas que pueden ceder electrones sin el riesgo de convertirse en compuestos inestables, de esta manera se interrumpe la creación de radicales. Por último, las proteínas de transición unidas a un ión metálico actúan como un componente crucial en el sistema de defensa antioxidante mediante el secuestro de hierro y cobre de manera que no están disponibles para conducir la formación

del radical hidroxilo (Birben, Sahiner, Sackesen, Erzurum & Kalayci, 2012; Young & Wooside, 2001).

Cuadro 2. Clasificación de los sistemas antioxidantes.

Clasificación	Compuestos
Enzimas antioxidantes	Catalasa, Glutación peroxidasa, Glutación reductasa, Superoxidasa dismutasa
	Fase lipídica
	Vitamina E, Carotenoides, Vitamina A, Flavonoides,
De detención o rotura de la cadena	Ubiquinol-10 (Q10)
	Fase Acuosa
	Vitamina C, Acido úrico, Urato, Grupos Sufhidrilo, Glutación Reducido
Proteínas de transición unidas a un metal	Ferritina, transferrina, lactoferrina, ceruloplasmina

Fuente: Young & Wooside, 2001.

Una dieta particularmente abundante en frutas, verduras y semillas es una rica fuente de vitaminas y antioxidantes, y otros fitoquímicos con características y propiedades antioxidantes. Existen más de 25 000 compuestos bioactivos, que provienen de una fuente exógena y que son capaces de aumentar la respuesta celular para contrarrestar el estrés oxidativo (Panglossi, 2006).

2.6 Estrés oxidativo

El oxígeno es uno de los gases más importantes de la tierra, constituye 21 % de la atmósfera, 89 % del peso del agua del mar y al menos 47 % de la corteza terrestre. La mayor parte de los seres vivos utilizan el oxígeno para respirar y obtener energía, sin embargo, a partir de esta molécula se forman otras más reactivas conocidas como especies reactivas de oxígeno (EROs). La generación de EROs es inevitable en el metabolismo aeróbico. La mitocondria es el principal productor de especies reactivas del oxígeno durante los procesos normales oxidativos del metabolismo, principalmente a través de la oxireducción que ocurre

en los complejos de transferencia de electrones, donde el oxígeno es el último aceptor de electrones (Macedo-Márquez, 2012).

Las especies reactivas del oxígeno incluyen radicales libres y ciertas especies no radicales oxidantes que se convierten fácilmente en radicales libres (Cuadro 3). El daño o estrés oxidativo se ha definido como la exposición de la materia viva a diversas fuentes que producen una ruptura del equilibrio que existe entre las sustancias o factores prooxidantes y los mecanismos antioxidantes encargados de eliminar dichas especies químicas, ya sea por un déficit de estas defensas o por un incremento de EROs (Venero, 2002).

Cuadro 3. Especies reactivas del oxígeno.

Radicales libres		No radicales	
Superóxido	O_2^-	Peróxidos orgánicos	ROOH
Hidroxilo	$OH\cdot$	Peróxido de hidrógeno	H_2O_2
Hidroperoxilo	HO_2	Oxígeno singlete	$O_2^1\Delta_g$
Peroxilo	RO_2	Ácido hipocloroso	HClO
Alcoxilo	$RO\cdot$	Ácido hipobromoso	HBrO
Carbonato	CO_3^-	Ozono	O_3
Dióxido de carbono	CO_2^-	Peroxinitrito	$ONOO^-$
		Ácido peroxinitroso	ONOOH

Las EROs dañan al ácido desoxirribonucleico (ADN) al reaccionar con las bases nitrogenadas y con la desoxirribosa, el daño oxidativo al ADN es de extrema importancia, debido a que las bases nitrogenadas dañadas pueden generar mutaciones que a su vez pueden resultar en carcinogénesis, apoptosis, necrosis y algunas enfermedades hereditarias. En el caso de la oxidación de lípidos y proteínas, genera lipoperoxidación que es un proceso relacionado con enfermedades cardiovasculares o bien, otras enfermedades como Alzheimer, artritis reumatoide y catarogénesis (Cárdenas-Rodríguez & Pedraza-Chaverri, 2006).

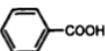
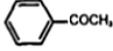
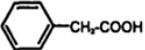
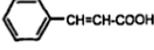
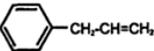
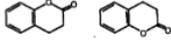
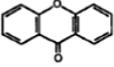
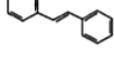
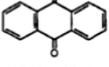
2.6.1 Compuestos fenólicos

Químicamente, los compuestos fenólicos pueden definirse como sustancias que poseen un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo, incluyendo sus derivados funcionales; existen más de 8000 compuestos fenólicos identificados (Shahidi y Naczk, 2004). Estos metabolitos son compuestos ampliamente distribuidos en las plantas y son un producto del metabolismo secundario, algunos son indispensables en los mecanismos de defensa, contra patógenos o bajo una situación de estrés (Cabrera-Soto *et al.*, 2009) (Cuadro 4).

Estructura química

Las plantas contienen una gran variedad de compuestos fenólicos como fenoles, fenilpropanoides, flavonoides, taninos y ligninas, con la función de pesticidas naturales, atrayentes de polinizadores, agentes protectores de los rayos ultra violeta, en algunos casos sirven como soporte estructural a la planta (Porras-Loaiza & López-Malo, 2009; Shahidi & Naczk, 2003).

Cuadro 4. Clasificación de los compuestos fenólicos.

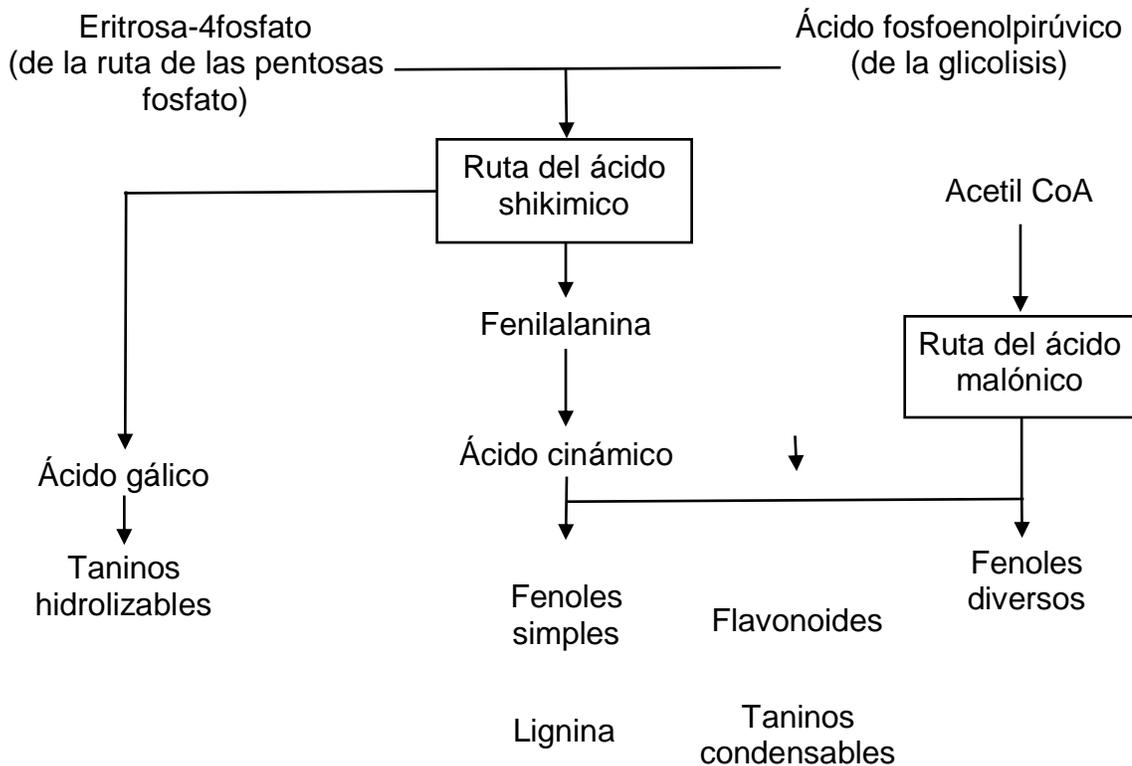
Clase	Estructura básica	Clase	Estructura básica
Fenoles simples		Benzoquinonas	
Ácidos fenólicos		Acetofenonas	
Ácidos fenilacéticos		Ácidos hidroxicinámicos	
Fenilpropenos		Cumarinas, isocumarinas	
Cromonas		Naftoquinonas	
Xantonas		Estilbenos	
Antraquinosas		Flavonoides	C6-C3-C6
Lignan, neolignan	(C6-C3) ₂	Ligninas	(C6-C3)

Fuente: Naczk y Shahidi, 2004.

Biosíntesis

Los fenoles en las plantas son sintetizados a partir de dos principales rutas metabólicas: la ruta del ácido shikimico la cual origina directamente fenilpropanoides como los ácidos hidroxicinámicos, producidos principalmente por vegetales; y la ruta del acetato malonato, la cual produce fenoles simples y algunas quinonas biosintetizados por hongos y bacterias y en menor proporción por vegetales. Uno de los grandes grupos de compuesto fenólicos son los flavonoides, los cuales derivan de una combinación de las dos principales rutas biosintéticas (Figura 2) (Shahidi & Naczki, 2004; Ewané *et al.*, 2012).

Figura 2. Ruta de biosíntesis de los compuestos fenólicos a partir de la ruta del



ácido shikimico y fenilalanina. Fuente: Ávalos & Pérez-Urria, 2009.

2.6.2 Vitamina C

La vitamina C es conocida comúnmente como ácido ascórbico y es un importante micronutriente en la alimentación humana, participa en la síntesis de colágeno, fijación del hierro, la conversión del ácido fólico a ácido folínico, el metabolismo

de la tirosina y de los carbohidratos, además de la síntesis de lípidos y proteínas (Ordóñez-Santos, Ospina, & Rodríguez, 2013; Basabe, 2000).

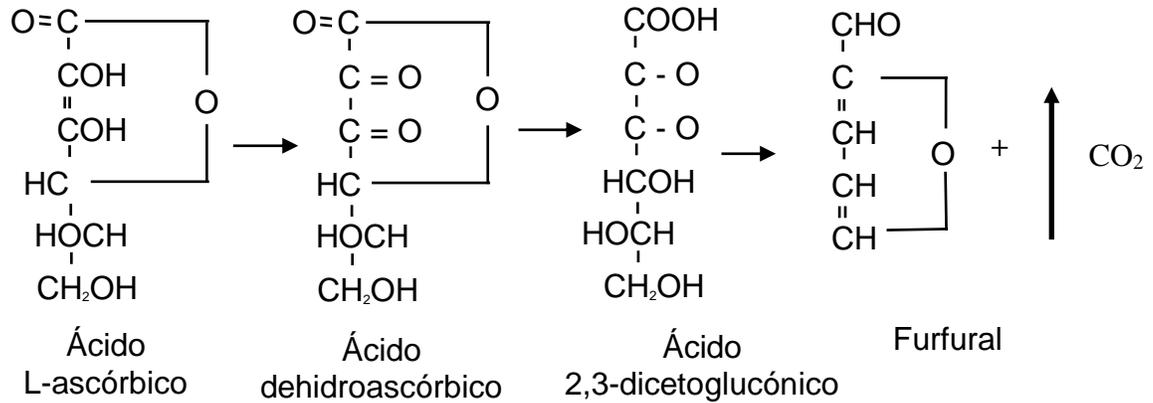


Figura 3. Oxidación de la vitamina C. Fuente: García *et al.*, 2006.

Químicamente denominada 2-oxo-L-treo-hexono-1,4-lactona-2,3-enediol, es una molécula orgánica tipo ceto-lactona de seis carbonos, familiarmente relacionada a los monosacáridos hexosas, la estructura muestra un grupo enediol bifuncional entre los carbonos 2 y 3, que la convierte en un agente ácido y altamente reductor, por lo que se oxida fácilmente (Figura 3) (Morán *et al.*, 2006; De Xammar & Donmaría, 2006). Este metabolito está ampliamente distribuido en el reino vegetal, sin embargo, los humanos y otras especies animales no la pueden sintetizar, es por eso que tiene que ser ingerida a través de una dieta rica en frutas y vegetales (García *et al.*, 2006).

En general, la vitamina C tiene tres principales tipos de actividades biológicas, como un cofactor enzimático, como antioxidante y como donante/aceptor de electrones en la membrana plasmática o en los cloroplastos, además de actuar en sinergia con otras vitaminas (Davey *et al.*, 2000). Las funciones biológicas de la vitamina C son fuertemente dependientes de su capacidad como agente óxido-reductor, esto se debe a que disminuye significativamente los efectos adversos de las especies reactivas del oxígeno (EROS) y nitrógeno, especies que están relacionadas con las enfermedades crónico-degenerativas (Morán *et al.*, 2006). La vitamina C es altamente susceptible a la oxidación, la cual está influenciada por la presencia de iones metálicos (Cu^{2+} y Fe^{3+}), por exposición a la luz, el calor,

pH, concentración de oxígeno y la actividad de agua, la forma oxidada, ácido dehidroascórbico, carece de poder antioxidante pero mantiene su propiedad antiescorbuto (Ordóñez-Santos *et al.*, 2013; De Xammar & Donmaría, 2006).

2.7 Compuestos antinutricionales

La mayor parte de las plantas utilizadas para consumo humano y animal contienen grandes cantidades de metabolitos secundarios, algunos de estos metabolitos han sido denominados factores antinutricionales (FANs), debido a que pueden causar un efecto negativo en su valor nutricional, así como en la salud humana y animal. Muchos de estos compuestos han aparecido como resultado natural de la coevolución de las plantas con animales herbívoros, otros están relacionados probablemente con el mecanismo de protección de plagas y enfermedades (Poulton, 1990).

El estudio de los FANs es complicado por la presencia de más de un compuesto tóxico en una sola fuente de alimento. Los niveles de estas sustancias varían con la parte de la planta, la especie, el cultivo, la variedad, las condiciones de crecimiento, las estaciones del año, el tratamiento poscosecha (secado, lavado y tratamiento térmico) y la germinación del material de semilla (Paterson, 1993). Los FANs son compuestos químicos generados por las plantas, que influyen en la aceptabilidad animal inhiben la digestión al afectar la actividad catalítica de algunas enzimas, producen efectos tóxicos y pueden limitar la absorción de los alimentos (Ahn, Elliott & Norton, 1997; Delgado, 1998). Según Ojeda (1996), los FANs pueden definirse como aquellas sustancias generadas por el metabolismo natural de las especies vegetales y que, por diferentes mecanismos, ejercen efectos contrarios a la nutrición óptima por la disminución de los efectos digestivos y/o metabólicos.

2.7.1 Glucósidos cianogénicos

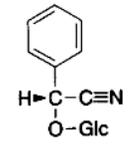
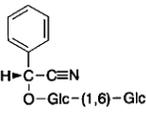
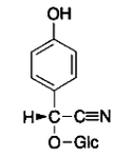
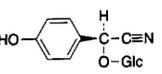
Los glucósidos cianogénicos son un producto del metabolismo secundario de las plantas y están presentes en por lo menos, 2500 cultivares, pertenecientes a las

familias *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Linaceae*, *Compositae* y otras (Arrázola *et al.*, 2013). Estos fitoquímicos están presentes prácticamente en todas las partes de la planta pero dependen de las características genotípicas y de las variaciones fenotípicas que son producto de la distribución geográfica y localización, condiciones climáticas, tipo de suelo y otros factores ecológicos que contribuyen a su presencia (Cheeke, 1989). Estos compuestos son altamente tóxicos en humanos y animales,

Estructura química

Se conocen más de 60 glucósidos cianogénicos, que están distribuidos principalmente en las plantas, sin embargo, continúan siendo pocos los que han sido aislados y caracterizados (Dey & Harborne, 1997). Los glucósidos cianogénicos son compuestos derivados de un L-aminoácido y están constituidos por una glicona tipo α -hidroxinitrilo y un azúcar, principalmente D-glucosa, pueden contener un monosacárido o un disacárido, y un hidroxinitrilo aromático (Cuadro 5) (Arrázola *et al.*, 2013).

Cuadro 5. Estructura química de algunos glucosidos cianogénicos.

Nombre	Estructura química	Precursor	Nombre	Estructura química	Precursor
Linamarina	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}\equiv\text{N} \\ \\ \text{O}-\text{Glc} \end{array}$	Valina	Prunasina		Fenilalanina
Lotaustralina	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}\equiv\text{N} \\ \\ \text{O}-\text{Glc} \end{array}$	Isoleucina	Amigdalina		Fenilalanina
Proacacipetlina	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \\ \text{C}=\text{C}-\text{C}\equiv\text{N} \\ \diagup \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{O}-\text{Glc} \end{array}$	Leucina	Taxifilina		Tirosina
Cardiospermina	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2 \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \\ \text{C}=\text{C}-\text{C}\equiv\text{N} \\ \diagup \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{O}-\text{Glc} \end{array}$	Leucina	Durrina		Tirosina

Fuente: Dey & Harborne, 1997.

Estructuralmente los glucósidos cianogénicos son similares entre ellos, con excepción de la lucumina que contiene una molécula de glucosa, así como el ión

catabólicas están compartimentadas en plantas intactas, ya sea en el tejido o los niveles subcelulares, esta compartimentación evita cualquier liberación prematura de HCN hasta que la interrupción de los tejidos permite su interacción (Cheeke, 1989; Swain *et al.*, 1992).

La liberación del ácido cianhídrico a partir de los compuestos cianogénicos es un proceso de dos etapas que implica una deglicosilación y una división de la molécula, regulada por β -glucosidasa y α -hidroxinitrilas respectivamente, además del HCN esta reacción concluye con la liberación de glucosa, benzaldehído o ketona (Arrázola *et al.*, 2013) (Figura 5).

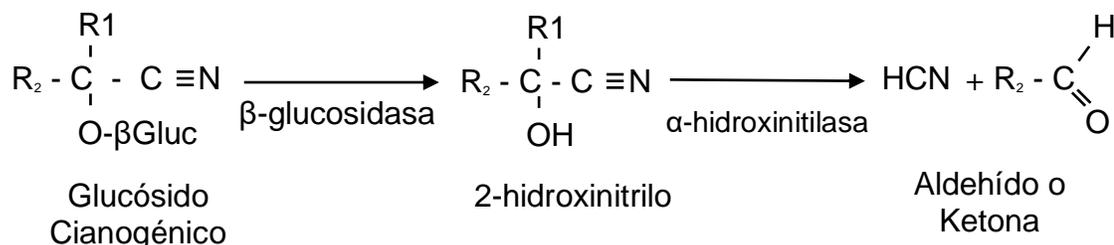


Figura 5. Catabolismo de los glucósidos cianogénicos.

2.8 Literatura Citada

- Ahn, J., Elliott, R., & Norton, B. (1997). Oven drying improves the nutritional value of *Calliandra calothyrsus* and *Gliricidia sepium* as supplements for sheep given low. *Journal of Science and Agriculture*. 75, 503.
- Arrázola, G., Grane, N., Martin, M., & Dicenta, F. (2013). Determinación de los compuestos cianogénicos amigdalina y prunasina en semillas de almendras (*Prunus dulcis* L.) mediante cromatografía líquida de alta resolución. *Revista Colombiana de Química*, 3(43), 23-30.
- Basabe, B. (2000). Funciones de la vitamina C en el metabolismo del colágeno. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 1(14), 46-54.
- Birben, E., Sahiner, U., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative Stress and Antioxidant Defense. *WAO Journal*(5), 9-19.
- Cárdenas-Rodríguez, N., & Pedraza-Chaverri, J. (2006). Especies reactivas de oxígeno y sistemas antioxidantes: aspectos básicos. *Educación Química*, 17(2), 164-173.
- Cheeke, P. (1989). *Toxicants of plant origin. Glycosides*. Florida, USA: CRC PRESS.
- Davey, M., Van Montagu, M., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A., Smirnov, N., . . . Fletcher, J. (2000). *Plant L-ascorbic acid: chemistry, function,*

- metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of Science of Food and Agriculture* (80), 825-860.
- De Xammar, J., & Donmaría, M. (2006). Acción Farmacológica, Biofísicoquímica y Estructura Dinámica de la Vitamina C. *Acta Farm. Bonaerense*, 1(25), 145-154.
- Delgado, E. (1998). Factores Antinutricionales. Curso de Fisiología digestiva. . La Habana, Cuba.: ICA.
- Dey, P., & Harborne, J. (1997). *Plant Biochemistry*. California, USA: ACADEMIC PRESS.
- Ewané, C., Lepoivre, P., Lapeyre, L., & Lassois, L. (2012). Involvement of phenolic compounds in the susceptibility of bananas to crown rot. A review. *Biotechnol. Agrom. Soc. Environ.*, 393-404.
- García, G., García, A., Mejía, Ó., Clavijo, D., Hernández, S., Báez, S., & Cobos, C. (2006). Aspectos bioclínicos y patobiológicos de la vitamina C en la especie humana. *CES Medicina*, 20(2), 53-72.
- Halliwell, B., & Gutteridge, M. (1999). *Free Radicals in Biology and Medicine* (Tercera ed.). Nueva York, USA: Oxford University Press.
- Ibarra-Alvarado, C., Rojas, A., Luna, F., Rojas, J., Rivero-Cruz, B., & Rivero-Cruz, J. (2009). Vasorelaxant Constituents of the leaves of *Prunus Serotina* "Capulín". *Rev. Latinoamer. Quim.*, 37(2), 164-173.
- INI. (1994). *Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana* (Primera ed.). Ciudad de México, México: Instituto Nacional Indigenista.
- Jiménez, M., Castillo, I., Azuara, E., & Beristain, C. I. (2011). Actividad antioxidante y antimicrobiana de extractos de capulín (*Prunus serotina* subsp capulí). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(1), 29-37.
- León, J. (2000). *Botánica de los Cultivos Tropicales* (Tercera ed.). San José, Costa Rica: ICCA.
- Lewin, B. (1989). *Genes*. Madrid, España (Tercera ed.).
- Lockwood, B. (2007). *Nutraceuticals* (Segunda ed.). Manchester, UK: Pharmaceutical Press.
- Luna-Vázquez, F. I.-A., Rojas-Molina, A., Rojas-Molina, J., Yahia, E., Rivera-Pastrana, D., Rojas-Molina, A., & Zavala-Sánchez, M. (2013). Nutraceutical Value of Black Cherry *Prunus serotina* Ehrh. Fruits: Antioxidante and Antihypertensive Properties. *Molecules*, 14597-14612.
- Macedo-Márquez, A. (2012). La producción de especies reactivas de oxígeno (EROs) en las mitocondrias de *Saccharomyces cerevisiae*. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 15(2), 97-103.
- McVaugh, R. (1951). A Revision of the North American Black Cherries (*Prunus Serotina* Ehrh., and Relatives). *Brittonia*, 279-315.
- Morán, G., García, A., Mejía, O., Clavijo, D., Hernández, S., Báez, S., & Cobos, C. (2006). Aspectos bioclínicos y patobiológicos de la vitamina C en la especie humana. *CES Medicina*, 20(2), 53-72.
- Ordaz-Galindo, A., Wexche-Ebeling, P., Wrolstad, R., Rodríguez-Saona, L., & Argaiiz-Jamet, A. (1999). Purification and identification of Capulin (*Prunus serotina* Ehrh) anthocyanins. *Food Chemistry*, 201-206.

- Ordóñez-Santos, L., Ospina, M., & Rodríguez, D. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Lasallista de Investigación*, 10(2), 44-51.
- Páez-Reyes, L., Sánchez-Olarte, J., Velasco-Torres, M., Álvarez-Gaxiona, J., & Argumendo-Macías, A. (2013). Propuesta de estrategia para el mejoramiento del cultivo de capulín en los municipios de Domingo Arenas, Calpan y San Nicolás de los Ranchos. *Ra Ximhai*, 109-119.
- Panglossi, H. (2006). *Antioxidants: New Research*. Nueva York, USA: Nova Science Publisher, Inc.
- Paterson, R. T. (1993). *Use of trees by livestock. Antinutritive factors*. United Kingdom.: Chatham.
- Petitpierre, B., Paireon, M., Broennimann, O., Jacquemart, A., Guisan, A., & Besnard, G. (2009). Plastid DNA variation in *Prunus serotina* var. *resotina* (Rosaceae), a North American tree invading Europe. *Eur J Forest Res*, 431-436. doi:10.1007/s10342-009-0287-1
- Porrás-Loaiza, A., & López-Malo, A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 121-134.
- Potter, D. (2011). *Prunus*. En C. Kole, *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources, Temperate Fruits*. Berlin: Springer-Verlag (págs. 129-145)..
- Poulton, J. (1990). Cyanogenesis in Plants. *Plant Physiol.*, 94, 401-405.
- Sahidi, F., & Naczk, M. (2004). *Phenolics in food and nutraceuticals: sources, applications and health effects*. USA: CRC Press.
- Shahidi, F. (2012). Nutraceuticals, Functional Foods and Dietary Supplements in Health and Disease. *Journal of Food and Drugs Analysis*, 20, 226-230.
- Shahidi, F., & Naczk, M. (2003). *Phenolics in Food and Nutraceuticals*. Washington, D.C., USA: CR PRESS.
- Swain, E., Li, C., & Poulton, J. (1992). Development of the Potencial for Cyanogenesis in Maturing Black Cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) Fruits. *Plant Physiol*, 98, 1423-1428.
- Venero, J. (2002). Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 31(2), 126-133.
- Willia, S., Michael, R. (2001). *Conceptos de Genética* (Quita ed.). España. p. 840.
- Young, I., & Wooside, J. (2001). Antioxidants in health and disease. *F Clin Pathol*(54), 176-186.

3. CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE CUATRO SEGREGANTES DE CAPULÍN (*Prunus serotina*), EN FRESCO Y PROCESADO.

RESUMEN

El fruto de capulín (*Prunus serotina*; Fam. *Rosacea*) es valorado desde la época prehispánica por sus propiedades medicinales, las cuales han sido utilizadas en el tratamiento de algunas enfermedades. Aunque México forma parte del centro de origen del capulín, la producción y el consumo de esta fruta han disminuido en los últimos años, convirtiéndolo en un fruto subutilizado. Se desconocen sus propiedades nutraceuticas y nutricionales. El objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades físico-químicas, componentes nutricionales y nutraceuticos de frutos de capulín, frescos y procesados de cuatro segregantes. Los frutos contienen proteína (1.79 – 2.37 %) y fibra (3.45 – 3.99 %), sin embargo, en la piel se encuentran las antocianinas, responsables de la coloración de la piel y propiedades antioxidantes. Se encontraron diferencias significativas del contenido de nutraceuticos entre los cuatro tipos de segregantes. El proceso térmico no disminuyó la calidad nutraceutica de los cuatro tipos de segregantes, solo afectó los atributos nutricionales. Por lo tanto, se concluye que los segregantes de mayor valor nutraceutico fueron Puebla 5-28 y Puebla 5-3, por sus elevados contenidos de compuestos fenólicos (301.27 – 351.57 mg EAG * 100 g⁻¹.p.f.), y antocianinas (18.54 - 19.69 mg cian-3-gli * 100 g⁻¹p.f.), respectivamente. Los glucósidos cianogénicos (antinutricionales) se encontraron únicamente en la almendra del hueso del fruto. La regresión lineal permitió explicar la actividad antioxidante en función al contenido de compuestos fenólicos y antocianinas ($p < 0.0001$). El análisis de componentes principales determinó la calidad de los frutos en función del contenido de fibra cruda, antocianinas, compuestos fenólicos, vitamina C, Ca, Cu, K, Mg, P, Na, pH, ángulo de tono *hue* e índice de saturación *chroma*. En conclusión, los frutos de capulín contienen una gran variedad de compuestos antioxidantes y nutricionales que podrían generar beneficios en la salud humana.

Palabras clave: *Prunus serotina*, nutraceuticos, antioxidantes, segregación genética, calidad nutricional.

NUTRACEUTICAL AND NUTRITIONAL PROPERTIES OF FOUR CAPULIN SEGREGANTS (*Prunus serotina*), FRESH AND PROCESSED.

ABSTRACT

Capulin (*Prunus serotina*, Fam. *Rosacea*) fruit has been valued since pre-Hispanic times for its medicinal properties, which have been used in the treatment of some diseases. Although Mexico is part of the center of origin of the capulin, the production and consumption of this fruit have declined in recent years, making it an underutilized fruit. Its nutraceutical and nutritional properties are unknown. The objective of this research was to evaluate the physical-chemical properties, and the nutritional and nutraceutical components of fresh and processed capulin fruits of four segregants. The fruits contain protein (1.79 – 2.37 %) and fiber (3.45 – 3.99 %), whereas the skin contains anthocyanins, responsible for its skin coloration and antioxidant properties. Significant differences in nutraceutical content were found among the four types of segregants, due to genetic differences. The thermal process didn't affect the nutraceutical quality of the four types of segregants, only the nutritional attributes were affected. Therefore, it was concluded that the segregants with the highest nutraceutical value were Puebla 5-28 and Puebla 5-3, due to their high phenolic content (301.27 - 351.57 mg GAE * 100 g⁻¹ p.f.), and anthocyanins (18.54 - 19.69 mg cyan-3-gly * 100 g⁻¹p.f.), respectively. Cyanogenic glycosides (antinutritional) were found exclusively in the capulin seed. The linear regression allowed to explain the antioxidant activity as a function of the content of phenolic compounds and anthocyanins (p <0.0001). The main component analysis determined fruit quality according to the content of fiber, anthocyanins, vitamin C, Ca, Cu, K, Mg, P, Na, pH, tone hue angle and chroma saturation index. In conclusion, the fruits of capulin contain a large variety of antioxidant and nutritional compounds that could generate benefits in human health.

Keywords: *Prunus serotina*, nutraceuticals, antioxidants, genetic segregation, nutritional quality.

3.1 Introducción

Recientemente, en México se ha generado un creciente interés por el conocimiento y manejo de frutas subutilizadas, también conocidas como frutas menores, secundarias o alternativas, como es el caso del capulín (*Prunus serotina*). El capulín pertenece a la familia *Rosaceae* y al género *Prunus*, donde se encuentran más de 200 especies de importancia comercial como la cereza, durazno, ciruela, entre otras, denominadas frutas de hueso (Potter, 2011).

Hay descripción de cinco subespecies de la especie *Prunus serotina*, la subespecie *capuli* es representativa de nuestro país, pero posiblemente se podrían encontrar poblaciones de todas las subespecies en el territorio nacional (McVaugh, 1951).

En Estados Unidos el capulín es conocido como cereza silvestre o negra, en Europa como cereza mexicana (Chavez, 1990; Petitpierre *et al.*, 2009). En México, el fruto se ha consumido fresco, deshidratado o utilizado en la preparación de mermelada, la semilla tostada se consume como botana (Martínez, 1959; Páez-Reyes, Sánchez-Olarte, Velasco-Torres, Álvarez-Gaxiona & Argumendo-Macías, 2013). El fruto del capulín ha sido utilizado tradicionalmente por sus propiedades medicinales para el tratamiento de algunas enfermedades (respiratorias, cardíacas, estomacales e hipertensión) (INI, 1994; Luna-Vázquez *et al.*, 2013).

Son pocos los estudios que describen la calidad nutricia y nutracéutica del fruto. Ordaz-Galindo, Wexche-Ebeling, Wrolstad, Rodríguez-Saona y Argáiz-Jamet (1999) reportan la presencia de antocianinas (cianidin-3-glucosido y cianidin-3-rutosido) en la cáscara del fruto de la especie *P. serotina* var. *capuli*. Asimismo, Ibarra-Alvarado *et al.* (2009) señalan la presencia de compuestos antihipertensivos como algunos compuestos fenólicos, como el ácido clorogénico en el fruto, metabolitos que podrían justificar en parte sus propiedades medicinales.

El alto contenido de compuestos fenólicos como flavonoides, proantocianidinas, catequinas, ácidos fenólicos, aceites esenciales y taninos (Jiménez, Castillo, Azuara y Beristain, 2011; Luna-Vázquez *et al.*, 2013) explican su uso como terapia natural para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, como algunos tipos de cáncer, problemas del sistema inmunológico y enfermedades cardiovasculares (Chang *et al.*, 2002; Craig, 1999; Cui *et al.*, 2006).

No existen estudios genéticos, ni taxonómicos recientes del capulín, posiblemente por tratarse de un fruto silvestre aprovechado por recolección. Se encuentran frutos de diversos tamaños, dulces hasta amargos, frutos con pieles de coloraciones rojizas hasta casi negras. Algunos segregantes de capulín (individuos sobresalientes del estado de Puebla, principalmente por sus características físico-químicas) se cultivaron para su conservación en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos en el Estado de México (A. Muratalla, comunicación personal; 19 de mayo 2015).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el contenido de compuestos nutraceuticos, capacidad antioxidante, composición nutricional y contenido de minerales en los frutos de cuatro segregantes de capulín, frescos y procesados.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Material de estudio

La presente investigación se realizó con frutos cosechados en etapa de madurez comercial de cuatro segregantes (individuos que nacieron de diferentes semillas de un mismo árbol) de capulín (*Prunus serotina*), Puebla 5-1 (P5-1), Puebla 5-3 (P5-3), Puebla 5-18 (P5-18) y Puebla 5-28 (P5-28), en mayo de 2015, en el Huerto de Fruticultura del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, municipio de Texcoco, Estado de México a 19°27' N, 98°54' O, a 2239 msnm (INEGI, 2016). Los cuatro segregantes fueron seleccionados porque son hijos del mismo árbol y se encuentran bajo las mismas condiciones edafoclimáticas.

El último estudio taxonómico de la especie *Prunus serotina* fue reportado por Robert McVaugh en 1951, no existe un trabajo reciente que permita clasificar y nombrar adecuadamente a los nuevos individuos de esta especie que han surgido como resultado de un manejo indiscriminado de material genético en las diferentes regiones del país en años recientes. El término *segregante* utilizado en la presenta investigación denomina a individuos que nacieron por cultivo de semillas de un mismo árbol (reproducción sexual).

3.2.2 Diseño experimental

El diseño de tratamientos se conformó por dos factores: capulín segregante y grado de procesamiento, el primero con cuatro niveles y el segundo con dos niveles. La estructura anterior conduce a un diseño experimental factorial asimétrico con asignación completamente al azar. La unidad experimental se conformó por 100 g de pulpa de capulín fresco y procesado, se realizaron tres repeticiones de las ocho combinaciones de tratamientos.

El diseño completamente al azar (DCA) se utilizó para la caracterización de los frutos de capulín de cada segregante. La unidad experimental se conformó por un fruto de capulín fresco con semilla, se realizaron veinticinco repeticiones de cada uno de los cuatro segregantes.

Las variables respuesta analizadas por DCA corresponden a propiedades del fruto fresco debido a que son propiedades que no pueden ser analizadas después del tratamiento térmico o bien, se ha demostrado que no sufren cambios significativos (Cuadro 6). Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a la prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$), mediante el programa Statistical Analysis System (SAS, versión 9.0, 2003).

Cuadro 6. Análisis estadístico para cada variable respuesta.

Variable respuesta	Diseño experimental	Comparaciones múltiples (p ≤ 0.05)
Peso, diámetro ecuatorial, diámetro polar, grosor de semilla, % de luminosidad, índice de saturación chroma, ángulo de tono hue, pH, sólidos solubles totales (°Brix), contenido de minerales (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, B).	DCA	Tukey
Composición proximal (humedad, cenizas, carbohidratos, proteína, lípidos, ácidos grasos, fibra cruda), compuestos nutraceuticos (antocianinas, compuestos fenólicos, flavonoides, vitamina C, capacidad antioxidante y % de inhibición).	Factorial 4 x 2	Tukey

Se construyó un modelo de regresión lineal múltiple para explicar la capacidad antioxidante en función a las variables explicativas asociadas: compuestos fenólicos, antocianinas, flavonoides y vitamina C.

Se implementó un análisis de componentes principales para agrupar los frutos de los segregantes caracterizados por las variables descriptoras de su calidad nutricional y nutraceutica.

3.2.3 Tratamiento térmico

El 50 % de los frutos recolectados recibieron tratamiento térmico. Una muestra representativa de 100 g de frutos de capulín con piel y sin semilla de cada segregante se colocó dentro de un vaso de precipitados sobre una parrilla eléctrica (Corning PC-620D), hasta alcanzar una temperatura de 40 °C durante un periodo de 5 min, debido a que se ha reportado (Esparza-Martínez, Miranda-López & Guzmán-Maldonada, 2016) que a partir de esta temperatura algunos

compuestos (proteínas, vitamina C, lípidos, entre otros) comienzan un proceso de degradación. Asimismo Garau, Simal, Rosselló y Femenia (2007) reportaron que los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante se incrementan en un intervalo de 40 a 70 °C.

Los frutos con tratamiento térmico y el 50 % de los frutos frescos fueron congelados con nitrógeno líquido y almacenados a -18 °C, hasta realizar los análisis correspondientes. Las semillas de los frutos frescos se refrigeraron hasta el análisis de compuestos antinutricionales (glucósidos cianogénicos).

3.2.4 Caracterización físico – química

Se midió el diámetro polar, diámetro ecuatorial y altura de 25 frutos frescos con cáscara y semilla de cada segregante mediante un pie de rey electrónico (Truper, CALDI-6MP). El peso de los frutos se determinó en una balanza analítica (Adventurer Pro AV64C, Ohaus Corporation).

Los sólidos solubles totales (SST) de los frutos frescos sin semilla se determinaron mediante un refractómetro óptico (0-32 °Brix) (Hand-Held Refractometer, N-1E, ATAGO), empleando el método establecido por la AOAC (2000).

Finalmente el pH se determinó en 5 mL de jugo de capulín, mediante un potenciómetro (HI2211 pH/ORP Meter, HANNA) según el método descrito por la AOAC (2000).

3.2.5 Parámetros de color

El color de la cáscara de los frutos de cada segregante se determinó mediante la evaluación de *L* (luminosidad), el ángulo de tono (*hue*) y la pureza de color o índice de cromaticidad (*chroma*) con un colorímetro digital (Chroma Meter CR-400, B8210363, Konica Minolta Optics, Inc.)(McGuire, 1992).

3.2.6 Cuantificación de minerales

El fruto de capulín con cáscara y sin semilla de cada segregante se deshidrató en un horno de aire por convección a 60 °C durante 48 h. Las muestra secas y

molidas de capulín fueron sometidas a digestión húmeda diácida ($\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4$, 4:1 v/v) y peróxido de hidrógeno. La determinación de B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, N y Zn se realizó en un Espectrofotómetro de Emisión Atómica de Plasma por Inducción Acoplada (ICP-AES) VARIAN modelo Liberty II. El contenido de N se determinó por el método colorímetro mediante la digestión en micro-Kjeldahl descrito por Alcántar & Sandoval (1999).

3.2.7 Análisis proximal

Los contenidos de Humedad (%), Fibra (%), Proteína (%), Lípidos (%) y Azúcares totales (%) se determinaron de acuerdo a la metodología establecida por la AOAC (2000). El contenido de ácidos grasos se calculó a partir de la Ecuación (1):

$$\% \text{ AG} = 0.8 * (\text{FC}) \quad (1)$$

donde AG = ácidos grasos y FC = fibra cruda. El contenido de carbohidratos totales se calculó mediante la Ecuación (2):

$$\% \text{ CT} = 100 - (\% \text{ PC} + \% \text{ L} + \% \text{ C}) \quad (2)$$

donde CT = carbohidratos totales, PC = proteína cruda, L = lípidos, C = cenizas (Audu y Aremu 2011).

3.2.8 Cuantificación de nutraceuticos

Preparación de extracto metanólico

A 1 g de pulpa de capulín con cáscara de cada segregante se le adicionaron 10 mL de MeOH acuoso al 80 % (v/v), la mezcla se homogeneizó mediante agitación en un vortex, posteriormente, se colocaron en un sonicador (Cole Parmer 8892, Illinois, USA) por 15 min a temperatura ambiente, se dejó reposar durante 24 h. Se centrifugó por 10 min a 1409 G para usarse en la cuantificación de los nutraceuticos (Wojdylo, Oszmianski, & Czemerys, 2007). Este extracto se utilizó para la cuantificación de compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante.

Determinación de compuestos fenólicos

Se tomaron 0.5 mL del extracto metanólico, preparado previamente, se agregaron 0.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (0.2 N) y 4 mL de una solución 0.7 M de Na₂CO₃, la mezcla se incubó a temperatura ambiente y en oscuridad durante 2 h. Se tomaron lecturas en un espectrofotómetro Genesys 10s (Thermoscientific, Florida, USA) a una longitud de onda de 765 nm. La concentración se calculó a partir de una curva estándar preparada a base de ácido gálico, Ecuación (3):

$$y = 0.0068x - 0.0003, R^2 = 0.995 \quad (3)$$

El contenido total de fenólicos en el extracto se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco (mg EAG 100 g⁻¹ p.f.) según el método modificado de Waterman y Mole (1994).

Cuantificación de flavonoides

El contenido de flavonoides se cuantificó de acuerdo al método reportado por Chang, Yang, Wen & Chern (2002). A 0.5 mL del extracto metanólico se le agregaron 1.5 mL de metanol (95 %), 0.1 mL de AlCl₃ (10 % p/v), 0.1 mL de solución 1 M de CH₃COOK y 2.8 mL de agua destilada. La mezcla se homogeneizó en un vortex y se incubó durante 30 min a temperatura ambiente, en oscuridad. Se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 415 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, USA). La curva estándar se construyó con quercetina como referencia Ecuación (4):

$$y = 0.007x - 0.0051; R^2 = 0.999 \quad (4)$$

Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina en 100 g de peso fresco (mg EQ 100 g⁻¹ p.f.).

Cuantificación de antocianinas

La cuantificación de antocianinas se realizó con el método de pH diferencial descrito por Giusti y Wrolstad, (2001). Se tomaron dos muestras por separado de 0.2 mL de extracto metanólico, a la primera muestra y se le adicionó 1.8 mL de

una solución amortiguadora de pH = 1.0 (HCl y KCl), a la segunda se le agregó la solución amortiguadora de pH = 4.5 (CH₃COOH/C₂H₃O₂Na.3H₂O). Para ambas muestras se midió la absorbancia en un espectrofotómetro (Genesys 10s, Thermo Scientific, USA), en dos longitudes de onda de 510 y 700 nm. La absorbancia total (At) de la muestra se calculó a partir de la Ecuación (5):

$$At = [(A_{510} - A_{700})_{pH = 1.0}] - [(A_{510} - A_{700})_{pH = 4.5}] \quad (5)$$

La concentración de antocianinas se calculó por medio de la Ecuación (6):

$$\text{Antocianinas (mg L}^{-1}\text{)} = (At * PM * FD * 1000) / (\epsilon * 1) \quad (6)$$

donde: At = absorbancia total, PM = peso molecular (449.2 g mol⁻¹) del estándar (Cianidina-3-glucósido, Sigma-Aldrich), FD = factor de dilución (1), ϵ = absorptividad molar del estándar (26 900). La concentración se expresó en mg de cianidina-3-glucósido por 100 g de peso fresco de capulín (mg cianidina-3-glucosido * 100 g⁻¹ p.f.).

Cuantificación de vitamina C

La concentración de vitamina C (ácido ascórbico) se determinó en pulpa con piel de los futos frescos y procesados (tratamiento térmico) de los cuatro segregantes, siguiendo la metodología descrita por Dürüst, Sumengen & Dürüst (1997). Los extractos se obtuvieron colocando 1 g de pulpa de capulín con piel en 10 mL de solución de ácido oxálico al 0.4 % (p/v), posteriormente, la mezcla se sonicó durante 15 min a temperatura ambiente y después se filtró.

Para preparar la solución L1, se mezclaron 1 mL de ácido oxálico al 0.4 % (p/v), 1 mL de solución amortiguadora de pH = 3 (3 g de acetato anhidro de sodio en 7 mL de agua y 10 mL de ácido acético glacial) y 8 mL de solución acuosa de dicloroindofenol (12 ppm), después de 15 s se midió la absorbancia de L1 a una longitud de onda de 520 nm mediante un espectrofotómetro Genesys 10s (Thermoscientific, Florida, USA). Para el análisis de las muestras de pulpa con cáscara de cada segregante (L2) se mezclaron 1mL de extracto de pulpa, 1 mL de solución amortiguadora de pH = 3 y 8 mL de dicloroindofenol. Se ajustó el espectrofotómetro a cero colocando la mezcla anterior pero sin muestra.

La absorbancia total fue determinada mediante la Ecuación (7):

$$A_t = L_1 - L_2 \quad (7)$$

donde A_t = Absorbancia total de la muestra; L_1 = Absorbancia del DCPI; y L_2 = Absorbancia del remanente de DCPI después de haber reaccionado con el ácido ascórbico de la muestra. Mediante una curva estándar a base de ácido ascórbico Ecuación (8):

$$y = 0.0042 \cdot x + 0.0011, R^2 = 0.997 \quad (8)$$

Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico por cada 100 g de peso fresco (mgEAA 100g⁻¹ p.f.).

3.2.9 Evaluación de capacidad antioxidante

Siguiendo la metodología descrita por Re *et al.* (1999), a una solución de 10 mL de concentración 7 mM del radical ABTS^{•+} (Ácido 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico) se le agregaron 6.61 mg de K₂S₂O₄, la mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente y en oscuridad durante 16 h. A 1 mL de la solución de ABTS^{•+} se le agregó el volumen necesario de etanol anhidro hasta lograr obtener en la mezcla una absorbancia de 0.7 ± 0.1 a una longitud de onda de 734 nm (máxima concentración de radical ABTS^{•+} formado). A 1 mL de la solución de ABTS^{•+} se le adicionaron 10 µL de la muestra a analizar, la mezcla se incubó a baño maría a 30 °C en oscuridad por 7 min. Finalmente, se tomó la lectura de la absorbancia en un espectrofotómetro Genesys 10s (Thermoscientific, Florida, USA) a una longitud de onda de 734 nm de la mezcla a los 7 min después de la incubación. Para la cuantificación de la actividad antioxidante se realizó una curva estándar a base de trolox (Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de trolox por cada 100 g de peso fresco (mg ET 100 g⁻¹ p.f.). Para calcular el porcentaje de inhibición del radical libre ABTS^{•+} se empleó la Ecuación (9):

$$\% \text{ de inhibición} = [(A_0 - A_F)/A_0]100 \quad (9)$$

donde: A_0 = absorbancia inicial del radical libre a 734 nm, A_F = absorbancia final de la reacción con la muestra.

3.2.10 Determinación de glucósidos cianogénicos

La detección de glucósidos cianogénicos se realizó mediante el método sodio-picrato reportado por Rosenthal & Berenbaum (2012). La prueba de detección se realizó por separado para la almendra de la semilla, y la pulpa con piel del fruto de capulín. Se utilizaron como indicador tiras de papel filtro (10 cm x 0.5 cm), previamente impregnadas con una solución de ácido pícrico al 1 %, se utilizó Na_2CO_3 para ajustar la solución a un pH de 7. Cada tira de papel seca se introdujo en un tubo de ensayo con 2 g de muestra molida en 2 mL de agua destilada y 6 gotas de cloroformo. El tubo se tapó para evitar la fuga del HCN (GAS) desprendido y se dejó reposar 20 min. El cambio de color amarillo a rojo ladrillo en el papel indicó la presencia de glucósidos cianogénicos.

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Propiedades físico – químicas

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las características físico-químicas de los frutos de los cuatro segregantes (individuos obtenidos por cultivo de semillas de un mismo árbol) de capulín. El segregante P5-3F presentó los frutos significativamente superiores de peso y tamaño, los frutos más pequeños y de menor peso fueron encontrados en el segregante P5-18F. La misma tendencia fue observada en el peso y en el tamaño de la semilla, el segregante P5-3F presentó las semillas estadísticamente superiores, mientras que el segregante P5-18F mostró contener las semillas más pequeñas (Cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Atributos físicos de frutos frescos (F) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Segregante	Peso (g)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)
P5-1F	3.04 ± 0.53 b	17.58 ± 1.27 b	15.69 ± 0.78 b
P5-3F	3.39 ± 0.32 a	18.83 ± 0.78 a	16.29 ± 0.45 a
P5-18F	2.18 ± 0.28 d	16.51 ± 0.86 c	14.76 ± 0.60 c
P5-28F	2.73 ± 0.26 c	16.74 ± 0.57 c	15.07 ± 0.52 c
DHS*	0.2705	0.6694	0.4446

Los valores reportados son la media de 25 repeticiones ± desviación estándar. DHS*: Diferencia honesta significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales.

Cuadro 8. Atributos físicos de semillas de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Segregante	Peso (g)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Grosor (mm)
P5-1	0.378 ± 0.03 b	9.57 ± 0.26 b	10.84 ± 0.40 c	8.02 ± 0.28 b
P5-3	0.508 ± 0.06 a	10.72 ± 0.29 a	12.38 ± 0.45 a	8.41 ± 0.26 a
P5-18	0.324 ± 0.02 c	9.09 ± 0.28 c	10.08 ± 0.32 d	7.25 ± 0.24 c
P5-28	0.376 ± 0.02 b	9.48 ± 0.26 b	11.77 ± 0.38 b	7.40 ± 0.22 c
DHS*	0.0282	0.2035	0.2911	0.1887

Los valores reportados son la media de 25 repeticiones ± desviación estándar. DHS*: Diferencia honesta significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales.

Los resultados mostraron que los frutos del segregante P5-1F obtuvieron los valores significativamente más altos de sólidos solubles totales (°Brix) y pH, por lo tanto, fueron los frutos de menor acidez y probablemente los más dulces. Los frutos de los segregantes P5-3F, P5-18F y P5-28F no mostraron diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles totales, mientras que para el pH los frutos del segregante P5-3F obtuvieron los valores más bajos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Contenido de Sólidos Solubles Totales (°Brix) y pH en frutos frescos (F) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Segregante	Sólidos Solubles	
	Totales (°Brix)	pH
P5-1F	15.88 ± 0.97 a	5.40 ± 0.18 a
P5-3F	14.84 ± 1.43 b	4.21 ± 0.16 d
P5-18F	14.92 ± 0.88 b	4.78 ± 0.16 b
P5-28F	15.37 ± 0.88 ab	4.42 ± 0.20 c
DHS*	0.7873	0.1288

Los valores reportados son la media de 25 repeticiones ± desviación estándar.

DHS*: Diferencia honesta significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales.

Los valores de pH obtenidos en el presente estudio (4.21 - 5.40) fueron superiores a los reportados por Ordaz-Galindo *et al.* (1999) (3.96) y Jiménez *et al.* (2011) (4.20) en la pulpa fresca de la misma especie (*Prunus serotina* subsp *capuli*), esto podría ser explicado debido a las características propias de cada material analizado y los factores de variación en este caso a las características genéticas (Ballistreri *et al.*, 2013).

Debido a que los frutos del capulín (*Prunus serotina*) y de la cereza (dulce o ácida) (*Prunus avium* y *Prunus cerasus* L.) pertenecen al género *Prunus*, y presentan características (taxonómicas y morfológicas) similares (Potter, 2011) los resultados obtenidos en esta investigación se compararon con los resultados de investigaciones similares realizadas en los frutos de cereza. El peso de los frutos de capulín de los cuatro segregantes analizados (2.18 – 3.39 g) fue menor a los valores (3.85 – 12.97 g) obtenidos en los frutos de 24 variedades de cereza dulce (*Prunus avium*) reportados por Ballistreri *et al.* (2013). Los valores de pH de los frutos de capulín (4.21 – 5.40) fueron mayores a los reportados (3.72 – 4.81) por estos autores, lo que permitió inferir que los frutos de los segregantes de capulín resultaron ser menos ácidos que los frutos de cereza. El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) de los frutos de capulín de los cuatro segregantes analizados (14.84 – 15.88 °Brix) se encontraron dentro del intervalo (13.53 – 22.31 °Brix) de los frutos de las 24 variedades de cereza. Estas variaciones se

podrían explicar debido a factores genéticos, como se ha reportado con otros frutos (cereza) (Ballistreri *et al.*, 2013) y tejocote (García-Mateos, R, Ibarra-Estrada & Nieto-Ángel, 2013).

3.3.2 Parámetros de color

Los parámetros de color (ángulo de tono *hue*, índice de saturación *chroma* y luminosidad) de la piel de los frutos de capulín mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Atributos de color en frutos frescos (F) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Segregante	Luminosidad (%)	Ángulo de tono <i>hue</i> (°)	<i>Chroma</i>
P5-1F	23.34 ± 1.46 a	28.35 ± 3.82 a	17.16 ± 2.98 a
P5-3F	22.75 ± 1.69 a	19.38 ± 3.95 b	11.64 ± 3.82 b
P5-18F	21.22 ± 0.89 b	18.02 ± 2.93 b	9.44 ± 3.17 b
P5-28F	20.95 ± 0.63 b	17.68 ± 2.68 b	6.18 ± 1.91 c
DHS*	0.9209	2.5098	2.2735

Los valores reportados son la media de 25 repeticiones; ± desviación estándar. DHS*: Diferencia honesta significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales.

Los frutos frescos del segregante P5-1F mostraron los valores significativamente más altos de *chroma* y ángulo de tono *hue* (17.16 y 28.35, respectivamente), que los identificó como los frutos de mayor intensidad de color anaranjado. Los frutos frescos del segregante P5-28F mostraron los valores estadísticamente más bajos de *chroma* y ángulo de tono *hue* (6.18 y 20.95, respectivamente), que los identificó como los frutos más rojos y de menor intensidad de color. Respecto a la luminosidad, los valores obtenidos permitieron dividir los frutos de los cuatro segregantes analizados en dos grupos, los frutos significativamente más claros (P5-1F y P5-3F) y los frutos más oscuros (P5-18F y P5-28F).

Los atributos de color de la piel son considerados el parámetro más importante de calidad y madurez en los frutos de cereza y capulín (Gao & Maza, 1995).

Ballistreti *et al.* (2013) reportaron valores de 24.75 - 39.17 en luminosidad, 2.41–34.10 para el *chroma* y para el ángulo de tono *hue* 0.57 – 26.93 en las 24 variedades de cereza dulce (*P. avium*), por lo tanto, los frutos de cereza presentaron variaciones en sus parámetros de color, lo cual se traduce en frutos con propiedades de rojo intenso, muy oscuro y brillante, hasta frutos rojos, claros y opacos. En comparación, los frutos de capulín mostraron una tendencia de coloración rojo – oscuro de menor claridad que los frutos de cereza.

Contenido de minerales

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) del contenido de minerales entre los frutos frescos de los cuatro segregantes de capulín. Los frutos frescos del segregante P5-1 presentaron las concentraciones estadísticamente superiores de P, K y Mg, en contraste, los frutos del segregante P5-28 mostraron significativamente mayores contenidos de Na, Ca, Fe y Cu; los segregantes P5-1F, P5-28F y P5-3F obtuvieron los mayores contenidos de Boro (Cuadro 11).

Cuadro 11. Contenido de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu y B (mg 100 g⁻¹ p.f.) en frutos frescos (F) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Mineral	SEGREGANTE				
	P5-1	P5-3	P5-18	P5-28	DHS*
P	40.28 ± 0.34 a	35.87 ± 0.24 c	35.85 ± 0.39 c	37.13 ± 0.41 b	1.1296
K	106.72 ± 0.38 a	100.46 ± 0.46 c	104.99 ± 0.26 b	96.31 ± 0.17 d	1.0995
Ca	22.63 ± 0.36 b	21.19 ± 0.25 c	16.43 ± 0.32 d	23.82 ± 0.43 a	1.1226
Mg	24.57 ± 0.07 a	22.34 ± 0.21 b	16.97 ± 0.12 d	19.67 ± 0.42 c	0.792
Na	21.03 ± 0.39 ab	20.19 ± 0.42 b	17.45 ± 0.42 c	21.63 ± 0.05 a	1.1554
Fe	0.67 ± 0.08 b	0.63 ± 0.00 b	0.53 ± 0.00 b	0.88 ± 0.04 a	0.1621
Mn	0.16 ± 0.00 b	0.17 ± 0.00 b	0.20 ± 0.00 a	0.20 ± 0.01 a	0.0201
Zn	0.28 ± 0.00 b	0.34 ± 0.00 a	0.30 ± 0.00 b	0.32 ± 0.00 a	0.0208
Cu	0.02 ± 0.00 d	0.04 ± 0.00 b	0.03 ± 0.00 c	0.07 ± 0.00 a	0.0047
B	0.99 ± 0.03 a	1.04 ± 0.00 a	0.90 ± 0.01 b	1.01 ± 0.02 a	0.0671

Los valores reportados son la media de 3 repeticiones; ± desviación estándar. DHS*: Diferencia honesta significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra, en una misma fila, son estadísticamente iguales.

Luna-Vázquez *et al.* (2013) reportaron valores mayores de K (184.30 ± 3.50 mg 100 g⁻¹p.f.) y Na (22.40 mg 100 g⁻¹p.f.), así como contenidos menores de P (28.10

± 0.40 mg 100 g⁻¹p.f.) y Ca (12.90 ± 1.90 mg 100 g⁻¹p.f), sin embargo, el contenido de Mg (21.20 ± 0.40 mg 100 g⁻¹p.f.) fue similar al obtenido en el presente estudio. Las diferencias encontradas en las concentraciones de minerales entre los cuatro segregantes de capulín se podrían atribuir nuevamente a factores genéticos como se ha reportado en otros frutos y algunas hortalizas (Reynoso-Camacho *et al.*, 2006).

No existen estudios realizados sobre la variación del contenido de minerales en los frutos de capulín en relación a factores genéticos, la presente investigación es una contribución del contenido de minerales en segregantes. Por lo tanto, los resultados obtenidos sugieren que el consumo de los frutos de capulín podría ser una alternativa de ingesta de minerales económica para la población.

3.3.3 Análisis proximal

El Cuadro 12 muestra algunas estadísticas de ajuste del modelo del diseño factorial asimétrico. El experimento fue altamente significativo y en todos los casos, la interacción resultó estadísticamente significativa.

Cuadro 12. Niveles de significancia, R², coeficiente de variación y significancia de los factores (A y B) y su interacción (A*B), en las variables respuesta que fueron analizadas mediante el diseño factorial 4 x2.

V. R.	(α) p-value	R ²	CV	Interacción	Factor A	Factor B
Antocianinas	< 0.0001	0.993	2.805	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
C. Fenólicos	< 0.0001	0.998	2.44	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Flavonoides	< 0.0001	0.993	1.927	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Vitamina C	< 0.0001	0.962	1.903	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
C. Antioxidante	< 0.0001	0.984	2.761	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Inhibición	< 0.0001	0.986	2.824	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Humedad	< 0.0001	0.962	1.903	0.0315	< 0.0001	0.1954
Cenizas	< 0.0001	0.980	1.671	< 0.0001	< 0.0001	0.6721
Proteína	< 0.0001	0.987	2.698	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Lípidos	< 0.0001	0.999	2.264	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Carbohidratos	< 0.0001	0.916	2.23	0.0267	< 0.0001	0.0004
Fibra cruda	< 0.0001	0.962	1.903	0.0275	< 0.0001	0.0005
Ac. Grasos	< 0.0001	0.962	1.903	0.0288	< 0.0001	0.0004

Los resultados del análisis proximal de los frutos de los cuatro segregantes de capulín fresco y procesado (tratamiento térmico) se muestran en el Cuadro 13. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los frutos frescos y procesados de los cuatro segregantes. El contenido de lípidos fue significativamente superior en los frutos frescos de los segregantes P5-1F y P5-3F. Los frutos frescos de los segregantes P5-1F y P5-28F mostraron los contenidos de fibra cruda, ácidos grasos y carbohidratos estadísticamente superiores a los segregantes P5-3F y P5-18F.

El contenido de proteína de los frutos del segregante P5-3F fue significativamente superior que el de los demás segregantes. Los valores encontrados de fibra cruda, humedad y lípidos son similares a los reportados por Luna-Vázquez *et al.* (2013) en frutos frescos de capulín (*Prunus serotina* subssp. *capuli*) (3.58, 81.18 y 0.05 %, respectivamente), en contraste los contenidos de proteína (2.1 %) y cenizas (0.8 %) fueron numéricamente mayores a los obtenidos en los frutos frescos de la presente investigación.

Los frutos de capulín frescos presentaron concentraciones de proteína numéricamente mayores a los reportados para otros frutos de mayor consumo, como los frutos de ciruela (0.9 ± 0.03 %), durazno (0.9 ± 0.01 %) y uvas (0.72 ± 0.03 %) (Luna-Vázquez *et al.*, 2013).

El tratamiento térmico (40 °C por 5 min) no tuvo un efecto significativo sobre el contenido de humedad y de cenizas. Esto podría explicarse, en el caso de la humedad, a que la temperatura del tratamiento térmico no fue suficiente para provocar evaporación de agua, en el caso de las cenizas, la temperatura alcanzada no afectó la composición (AOAC, 2000). Sin embargo, el contenido de proteínas se redujo hasta en un 25 %.

Los frutos frescos de los segregantes P5-1F y P5-18F no mostraron cambios significativos en el contenido de fibra cruda después del tratamiento térmico, sin

embargo, otras investigaciones han reportado el aumento en el contenido de fibra cruda en otros frutos (dátiles) a la misma temperatura pero con una mayor duración (40 °C – 48 h) (Borchani, Besbes, Blecker, Paquot, & Hamadi, 2011); así como en el jugo de algunos cítricos (mandarina y limón) en un intervalo de temperatura de 70 a 90 °C por más de 24 h (Esparza-Martínez *et al.*, 2016).

Cuadro 13. Análisis proximal (%) de los frutos frescos (F) y procesados (P) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Segregante	Cenizas	Humedad	Carbohidratos	Proteína	Lípidos	Ac. Grasos	Fibra cruda
P5-1 F	0.771 ± 0.016 d	79.45 ± 0.26 b	17.95 ± 0.25 ab	1.79 ± 0.46 b	0.03 ± 0.01 a	3.19 ± 0.04 ab	3.99 ± 0.06 ab
P 5-3 F	0.856 ± 0.013 c	81.21 ± 0.26 a	15.52 ± 0.11 d	2.37 ± 0.01 a	0.03 ± 0.01 a	2.76 ± 0.05 d	3.45 ± 0.06 d
P 5-18 F	0.841 ± 0.015 c	80.98 ± 0.66 a	16.33 ± 0.76 cd	1.82 ± 0.09 b	0.02 ± 0.01 b	2.90 ± 0.14 cd	3.63 ± 0.17 cd
P5-28 F	0.912 ± 0.011 b	79.92 ± 0.02 b	17.31 ± 0.10 bc	1.83 ± 0.01 b	0.01 ± 0.01 d	3.08 ± 0.01 bc	3.85 ± 0.01bc
P5-1 P	0.684 ± 0.008 e	79.26 ± 0.11 b	18.21 ± 0.11 ab	1.82 ± 0.01 b	0.01 ± 0.01 c	3.24 ± 0.02 ab	4.04 ± 0.02 ab
P 5-3 P	0.954 ± 0.004 a	81.33 ± 0.09 a	16.52 ± 0.09 cd	1.17 ± 0.02 d	0.01 ± 0.01 de	2.94 ± 0.02 cd	3.67 ± 0.02 cd
P5-18 P	0.911 ± 0.008 b	81.24 ± 0.16 a	16.42 ± 0.13 cd	1.40 ± 0.02 c	0.01 ± 0.01 f	2.92 ± 0.02 cd	3.64 ± 0.03 cd
P5-28 P	0.821 ± 0.011c	78.95 ± 0.16 b	18.74 ± 0.17 a	1.47 ± 0.02 c	0.01 ± 0.01 ef	3.33 ± 0.03 a	4.16 ± 0.04 a
DHS*	0.0399	0.9822	1.0823	0.1306	0.0011	0.0243	0.243

Los valores reportados son la media de 3 repeticiones; ± desviación estándar. DHS*: Diferencia honesta significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales.

3.3.4 Contenido de nutraceuticos

Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) del contenido de compuestos nutraceuticos entre los frutos frescos y procesados de los cuatro segregantes de capulín (Cuadro 14).

Cuadro 14. Contenido de compuestos nutraceuticos en frutos fresco (F) y procesado (P) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*) por cada 100 g de peso fresco.

Segregante	Compuestos Fenólicos (mg EAG)	Flavonoides (mg EQ)	Antocianinas (mg ECyd-3-Gli)	Vitamina C (mg EAA)
P5-1 F	96.42 ± 3.09 e	28.39 ± 0.18 e	9.05 ± 0.20 e	33.87 ± 0.24 c
P5-3 F	331.57 ± 4.09 b	50.49 ± 0.83 a	19.69 ± 0.19a	40.06 ± 0.55 a
P5-18 F	228.84 ± 5.95 d	48.68 ± 1.47 ab	16.46 ± 0.61 c	42.01 ± 0.93 a
P5-28 F	341.27 ± 3.09 b	50.25 ± 0.44 a	18.54 ± 0.32 ab	40.46 ± 0.77 a
P5-1 P	104.6 ± 2.14 e	31.30 ± 0.31d	8.44 ± 0.24 e	33.52 ± 0.34 c
P5-3 P	390.69 ± 3.24 a	49.58 ± 0.53 a	16.57 ± 0.34 c	40.06 ± 0.62 a
P5-18 P	305.27 ± 2.14 c	46.44 ± 0.53 b	10.77 ± 0.24 d	36.61 ± 0.40 b
P5-28 P	388.84 ± 0.86 a	42.01 ± 0.12 c	17.48 ± 0.29 bc	36.69 ± 0.54 b
DHS*	20.296	2.365	1.1599	2.04

Los valores reportados son la media de 3 repeticiones; ± desviación estándar. DHS*: Diferencia honesta significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales.

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la concentración de compuestos fenólicos entre los frutos frescos de los cuatro segregantes de capulín. La misma tendencia fue observada en el contenido de antocianinas, flavonoides y vitamina C. Los frutos frescos de los segregantes P5-28F y P5-3F fueron los que presentaron las concentraciones estadísticamente superiores de antocianinas y compuestos fenólicos, en flavonoides comparten tal superioridad con P5-18F; las concentraciones más bajas de estos metabolitos fueron encontradas en los frutos frescos y procesados del segregante P5-1.

La concentración de flavonoides encontrada en todos los segregantes fue menor a la de los compuestos fenólicos totales, lo cual podría deberse a que algunos flavonoides se encuentren como procianidinas (taninos condensados) como

sucede en otros frutos (Cui *et al.*, 2006). El contenido de vitamina C fue estadísticamente igual entre los frutos frescos de los segregantes P5-3F, P5-18F y P5-28F, el valor más bajo de este metabolito lo presentaron los frutos frescos del segregante P5-1F.

El tratamiento térmico tuvo un efecto significativo en el contenido de compuestos nutraceuticos entre los frutos de los cuatro segregantes. El contenido de compuestos fenólicos obtuvo un incremento significativo en los frutos de los cuatro segregantes posterior al tratamiento térmico (17 %). El aumento del contenido de los compuestos fenólicos en algunos frutos puede deberse a la activación de la enzima fenilalanina-amonioliasa (PAL) como respuesta a daños mecánicos o situaciones de estrés en algunos frutos (Pirovani *et al.*, 2009; de Ancos *et al.*, (2009).

Existen pocos estudios que muestran el contenido de estos metabolitos en capulín. Sin embargo, es importante mencionar que el consumo de algunos vegetales proporcionan efectos saludables debido a la presencia de compuestos fenólicos, porque estos se relacionan con una diversidad de propiedades benéficas para el consumidor, como la prevención del daño oxidativo del ADN, de lípidos y de proteínas, de la inhibición de procesos inflamatorios e inducción de enzimas detoxificantes (Rodrigo-García *et al.*, 2009).

Los segregantes P5-3F y P5-18F no mostraron diferencias significativas en el contenido de flavonoides después del tratamiento térmico, por el contrario del segregante P5-28P que fue el que mostró la mayor disminución de este metabolito.

El efecto del tratamiento térmico provocó la disminución significativa del contenido de antocianinas en los segregantes P5-3F y P5-18F; numéricamente se encontró la disminución promedio de antocianinas de 16 %. Los niveles de antocianinas varían de acuerdo a la temperatura del proceso. Oliveira *et al.* (2010) observaron una reducción en el contenido de antocianinas en arándanos entre

12 y 42 % durante un calentamiento progresivo desde 12 hasta 99 °C durante 60 min, el mismo fenómeno se encontró en el capulín con tratamiento térmico.

El contenido de antocianinas encontrado en los frutos de capulín frescos coincide con lo reportado por Ordaz-Galindo *et al.* (1999) en los frutos de capulín (*Prunus serotina*) (31.7 mg ECian-3-Gli 100 g⁻¹ p.f.). Ballistreri *et al.* (2013) reportaron contenidos de antocianinas (6.21 – 94.20 mg ECian-3-Gli 100 g⁻¹ p.f.) y compuestos fenólicos (84.96 – 162.21 mgEAG 100 g⁻¹ p.f.) en frutos de cereza dulce de 24 variedades cultivadas en Italia. Asimismo, el contenido máximo de antocianinas reportado en frutos de cereza fue cuatro veces superior al reportado en esta investigación en los frutos de capulín, en contraste, el contenido de compuestos fenólicos fue dos veces mayor en los frutos de capulín. Las antocianinas son un tipo de flavonoide presentes en el epicarpio de algunos frutos (uvas, ciruelas y arándanos) (Morales, 2011) como se encuentran en los frutos de capulín, son responsables de los colores rojo, azul (He y Giusti, 2010) y morado (Pojer *et al.*, 2013) principalmente en algunos frutos.

Los compuestos fenólicos además de su capacidad antioxidante, poseen otros mecanismos de acción que explican sus diversos efectos benéficos en los consumidores (Mercado-Mercado *et al.*, 2013). Los flavonoides son también compuestos fenólicos con potencial antioxidante presentes en hortalizas y frutas; en las últimas dos décadas los estudios epidemiológicos han demostrado una relación entre el consumo de flavonoides y la baja incidencia de padecimientos degenerativos (Toh *et al.*, 2013). Los mecanismos de acción de cada fitoquímico en capulín se desconocen, pero el efecto sinérgico de estos bioactivos lo convierten en un alimento con propiedades funcionales notables, principalmente los frutos de los segregantes P5-3F y P5-28F.

El contenido de vitamina C mostró diferencias significativa únicamente entre los frutos frescos y procesados de los segregantes P5-18 y P5-28, donde se generó una disminución de su contenido (12.8 y 9.3 %, respectivamente). El contenido de vitamina C en los frutos frescos de capulín de los cuatro segregantes

analizados fue mayor al reportado por García *et al.* (2006) en plátano (8 – 16 mg 100 g⁻¹) y manzana verde (3-30 mg 100 g⁻¹). La vitamina C juega un papel muy importante en el metabolismo humano, es fundamental para el desarrollo y función del sistema nervioso, forma parte de los mecanismos de cicatrización, biosíntesis de colágeno, y diferentes neurotransmisores (García *et al.*, 2006).

Los frutos frescos del segregante P5-3F fueron en los que se afectaron menos los compuestos nutraceuticos debido al tratamiento térmico, por esta razón se recomienda como un segregante con potencial para ser procesado.

3.3.5 Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los frutos frescos y procesados de los cuatro segregantes de capulín presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 15).

Cuadro 15. Contenido de capacidad antioxidante (Método ABTS●+) ($\mu\text{mol ET100 g}^{-1}$ p.f.) y (%) de Inhibición de radicales libres en frutos frescos (F) y procesados (P) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Segregante	Capacidad Antioxidante	% de Inhibición
P5-1 F	1326.084 \pm 47.27 c	54.17 \pm 2.17 b
P5-3 F	1800.81 \pm 23.23 b	92.25 \pm 3.28 a
P5-18 F	1390.40 \pm 2.88 c	57.13 \pm 0.13 b
P5-28 F	2154.05 \pm 71.48 a	95.77 \pm 1.13 a
P5-1 P	1816.94 \pm 8.81 b	91.36 \pm 0.40 a
P5-3 P	2252.06 \pm 22.22 a	96.76 \pm 1.02 a
P5-18 P	2145.89 \pm 76.11 a	91.87 \pm 3.50 a
P5-28 P	2134.66 \pm 8.78 a	97.84 \pm 0.43 a
DHS*	146.55	6.7576

Los valores reportados son la media de 3 repeticiones; \pm desviación estándar.

DHS*: Diferencia honesta significativa (Tukey, 0.05). Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales.

Los valores más altos de capacidad antioxidantes se observaron en los frutos frescos del segregante P5-28F, seguido del segregante P5-3F. Los frutos frescos de estos segregantes fueron los que presentaron el mayor contenido de antocianidinas, compuestos fenólicos, flavonoides y vitamina C. Los frutos procesados de los cuatro segregantes mostraron un aumento promedio de 28 % en el contenido de capacidad antioxidante; así como de su capacidad inhibidora

promedio de radicales libres (34 %), lo cual podría explicarse por el aumento de compuestos fenólicos (17 %) mencionado anteriormente en el presente estudio.

El modelo de regresión lineal permitió explicar la capacidad antioxidante en función del contenido de compuestos fenólicos y antocianinas, Ecuación (10):

$$C. \text{ antioxidante} = 1700 + 8.18 \text{ C. Fenólicos} - 130.1 \text{ Antocianinas} \quad (10)$$

donde: C. antioxidante = capacidad antioxidante; C. Fenólicos = contenido de compuestos fenólicos; y Antocianinas = contenido de antocianinas. Es decir, la actividad antioxidante encontrada podría deberse a un efecto sinérgico de los nutraceuticos, como se ha reportado en diversos frutos (Brat *et al.*, 2005; Kuti, 2004), lo que podría explicar una mayor actividad antioxidante en algunos segregantes con mayor contenido de compuestos fenólicos y antocianinas.

La capacidad antioxidante obtenida en los frutos frescos y procesados de los cuatro segregantes de capulín ($1326.08 \pm 47.27 - 2252.06 \pm 22.22 \mu\text{mol ET } 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) fue similar a los valores reportados por Luna-Vázquez *et al.* (2013) ($1455.2 \pm 92.5 - 2056.7 \pm 108.0 \mu\text{mol ET } 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) en frutos frescos de la misma especie.

El máximo contenido de capacidad antioxidante reportado por Ballistreri *et al.* (2013) en los frutos de 24 variedades de cereza dulce (*P. avium*) ($3166.00 \pm 9.36 \mu\text{mol ET } 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) fue 50 % mayor al valor máximo encontrado en los frutos de capulín frescos y procesados de los cuatro segregantes reportado en esta investigación.

Como observación de otros autores, la capacidad antioxidante podría depender de la presencia de compuestos fenólicos específicos, flavonoides y proantocianidinas (Kelebek & Selli, 2011; Usenik *et al.*, 2010), los cuales no fueron evaluados en el presente estudio. Investigaciones similares realizadas por García-Mateos *et al.* (2013) en 20 diferentes genotipos de tejocote y Ballistreri *et al.* (2013) en 24 variedades de cereza dulce (*P. avium*), mostraron que el factor

genético podría explicar las variaciones en las características de los segregantes de capulín.

La variación entre los valores obtenidos de las características (físico-químicas, nutricionales y nutraceuticas) de los frutos de los cuatro segregantes analizados en esta investigación y los valores obtenidos en diferentes investigaciones realizadas en cereza podrían explicarse por el manejo y mejoramiento genético realizado en diferentes variedades de cereza, debido a la importancia económica y comercial de sus frutos (Pérez-Sánchez *et al.*, 2013), en contraste con los frutos de capulín que son aprovechados por recolección (Páez-Reyes *et al.*, 2013).

3.3.6 Compuestos antinutricionales

Glucósidos cianogénicos

La identificación cualitativa de glucósidos cianogénicos resultó positiva en las pruebas realizadas en las almendras de las semillas de los cuatro segregantes. La reacción del HCN, liberado de la maceración de las almendras con el picrato de sodio provocó el cambio de color (amarillo) de las tiras de papel filtro impregnadas previamente con ácido pícrico a un color rojo-ladrillo característico de la presencia del isopurpurato sódico formado durante la reacción, como se muestra en la Figura 6 (Riguelet, J. & Viña, S. 2013) .

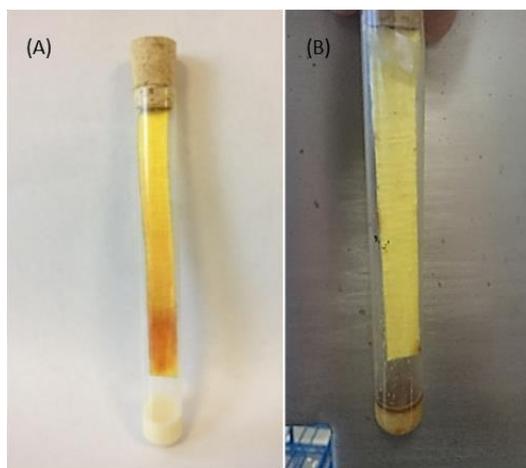


Figura 6. Identificación cualitativa por CCF de glucósidos cianogénicos en (A) la almendra del hueso (+) y (B) pulpa de fruto (-).

En la pulpa no se detectaron cualitativamente estos metabolitos. Los resultados obtenidos podrían explicarse a la ausencia de la β -glucosidasa en la pulpa, enzima responsable de la liberación final del gas HCN de los glucósidos cianogénicos (Arrázola *et la.* 2013; Cheeke, 1989).

La presencia de sustancias antinutricionales (taninos, lecitinas, inhibidores de tripsina, glucósidos cianogénicos y ácido fítico) (Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998) en algunos vegetales limitan la aceptabilidad de su consumo, sin embargo, algunas sustancias antinutricionales son sensibles al calor y procesamiento (Reynoso-Camacho *et al.*, 2006), lo cual podría explicar el consumo de las semillas de capulín doradas como botana en algunas regiones sin efectos tóxicos.

3.4 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales permitió caracterizar los frutos frescos de los segregantes de capulín (P5-1F, P5-3F, P5-18F y P5-28F) en función de sus propiedades nutricionales y nutracéuticas (Figura 7).

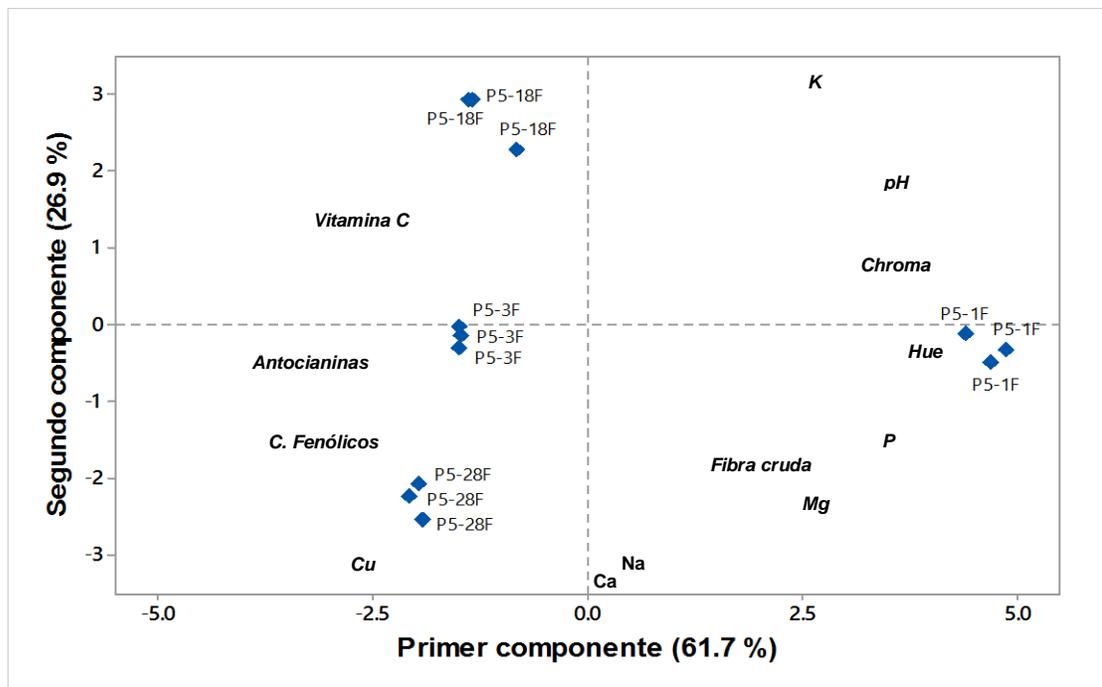


Figura 7. Análisis de componentes principales de los frutos frescos de los cuatro segregantes de capulín.

La calidad nutricional y nutracéutica de los frutos frescos de los cuatro segregantes de capulín estuvo caracterizada por el contenido de fibra cruda, vitamina C, antocianinas, compuestos fenólicos, Ca, Cu, K, Mg, Na, P, el valor de pH, ángulo de tono *hue* e índice de saturación *chroma*. La suma del primer y segundo componente permitió explicar el 89 % de la calidad nutricional y nutracéutica de los frutos de capulín.

En el primer componente se observó que las variables con mayor peso del lado negativo fueron el contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y vitamina C; en tanto que aquellas del lado positivo correspondieron al ángulo de tono *hue*, P, pH e índice de saturación *chroma*. Las variables que describen con mayor peso al segundo componente son: Ca, Na, y Cu del lado negativo, mientras que del lado positivo los mayores descriptores corresponden a K.

La Figura 7 muestra que los frutos frescos con mayor calidad nutracéutica en orden descendente fueron los de los segregantes P5-28F, P5-3F y P5-18F. En tanto que los frutos del segregante P5-1F mostraron el mayor contenido de minerales y menor calidad nutracéutica.

3.5 Conclusiones

Los frutos de capulín son fuente de compuestos fenólicos, antocianinas, compuestos antioxidantes, fibra cruda, proteína y carbohidratos, además de contener una cantidad significativa de minerales como N, P, K, P y Ca. Los frutos frescos del segregante P5-1F mostraron el mayor contenido de minerales, siendo estadísticamente superiores en el contenido de P, K, Mg, compartiendo la superioridad en Na y Boro con los segregantes P5-28F y P5-3F, respectivamente. El segregante P5-3F tuvo los frutos frescos y las semillas estadísticamente superiores en tamaño, además del mayor contenido de proteína. Los frutos frescos de los segregantes P5-3F y P5-28F fueron estadísticamente superiores en contenido de antocianinas y flavonoides, compartiendo esta superioridad en el contenido de vitamina C con los frutos frescos del segregante P5-18F. Los frutos frescos del segregante P5-28F mostraron la mayor capacidad antioxidante. El segregante P5-3 presentó la menor variación del contenido de compuestos nutracéuticos después de la aplicación del tratamiento térmico. Se obtuvo un

incremento significativo del contenido compuestos fenólicos y de capacidad antioxidante de todos los segregantes después del tratamiento térmico.

3.6 Recomendaciones

El presente estudio podría considerarse una contribución al conocimiento de la calidad nutricia y antioxidante, poco documentada de los frutos de capulín, recurso consumido ancestralmente en México. Actualmente, el potencial del capulín es poco reconocido; sin embargo, aún forma parte de la identidad cultural y gastronómica de algunas regiones de la república mexicana.

Se recomienda la conservación y reproducción de los segregantes P5-3 y P5-28 por presentar los frutos y semillas de mayor tamaño, altos contenidos de proteínas, antocianinas, compuestos fenólicos y vitamina C. El capulín se puede considerar un alimento funcional económico debido a su contenido de minerales, proteína, lípidos, antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, pero requiere de la creación de sistemas específicos de aprovechamiento y manejo para poder competir con otros productos de mayor consumo como los arándanos y las cerezas. Se recomienda realizar estudios genéticos y taxonómicos que permitan definir el estado actual de la especie *Prunus serotina*.

3.7 Literatura citada

- Alcántar, G., & Sandoval, M. (1999). Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Chapingo, Estado de México, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C.
- AOAC, (2000). Methods of Analysis (17va ed.). Washington, Estados Unidos de América.
- Arrázola, G., Grane, N., Martin, M., & Dicenta, F. (2013). Determinación de los compuestos cianogénicos amigdalina y prunasina en semillas de almendras (*Prunus dulcis* L.) mediante cromatografía líquida de alta resolución. *Revista Colombiana de Química*, 3(43), 23-30.
- Brat, P., Stephane, G., Bellamy, A., Du Chaffaut, L., Scalbert, A., Mennen, L., Arnault, N. and Amiot, M.J. 2007. Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables. *J. Nut. Nutr.Epid.*136: 2368-2373.
- Ballistreri, G., Continella, A., Alessandra, G., Amenta, M., Fabroni, S., & Rapisarda, P. (2013). Fruit quality and bioactive compounds relevant to human health of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Italy. *Food Chemistry*, 140, 630-638.

- Birben, E., Sahiner, U., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative Stress and Antioxidant Defense. *WAO Journal* (5), 9-19.
- Borchani, C., Besbes, S. M., Blecker, C., Paquot, M., & Hamadi, A. (2011). Effect of drying methods on physico-chemical and antioxidant properties of date fibre concentrates. *Food Chemistry*, 125, 1194-1201.
- Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoids content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal Food and Drug Analysis*, 10(3), 176-182.
- Cheeke, P. (1989). *Toxicants of plant origin. Glycosides*. Florida, USA: CRC PRESS.
- Craig, W. J. 1999. Health-promoting properties of common herbs. *The American Journal of Clinical Nutrition* 70 (suppl.):491S-499S.
- Cui, N.; Nakamura, K.; Tian, S.; Kayahara, H.; Tian, Y. 2006. Polyphenolic content and physiological activities of chinese hawthorn extracts. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry* 70: 2948-2956.
- De Ancos B, SC Moreno, PM Cano (2009) Aspectos nutricionales y saludables de vegetales frescos cortados: In: Aspectos Nutricionales y Sensoriales de Vegetales Frescos Cortados. Trillas. México. pp: 120-154
- Delgado, E. (1998). *Factores Antinutricionales. Curso de Fisiología digestiva*. . La Habana, Cuba.: ICA.
- Dürüst, N., Sumengen, D., & Dürüst, Y. (1997). Ascorbic Acid and Element Contents of Foods of Trabzon (Turkey). *Journal Agriculture Food and Chemistry*, 45(6), 2085-2087.
- Esparza-Martínez, F., Miranda-López, R., & Guzmán-Maldonado, S. (2016). Efecto de la temperatura sobre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en el residuo de la producción de jugo de mandarina. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 843-850.
- Gao, L., & Mazza, G. (1995). Characterization, quantitation, and distribution of anthocyanins and colorless phenolics in sweet cherries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 343-346.
- Garau, M., Simal, S., Rosselló, C., & Femenia, A. (2007). Effects of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v *Canoneta*) by-products. *Food Chemistry*, 104, 1014-1024.
- García, G., García, A., Mejía, Ó., Clavijo, D., Hernández, S., Báez, S., & Cobos, C. (2006). Aspectos bioclínicos y patobiológicos de la vitamina C en la especie humana. *CES Medicina*, 20(2), 53-72.
- García-Mateos, R., Ibarra-Estrada, E., & Nieto-Angle, R. (2013). Compuestos antioxidantes en frutos de tejocote (*Crataegus* spp.) de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 1298-1304.
- Guzmán-Maldonado, S.H.; Paredes-López, O. 1998. Functional products of plants indigenous of Latin America: amaranth, quinoa, common beans and botanicals, pp. 293-328. In: *Functional Foods. Biochemical and Processing Aspects*. MAZZA, G. (ed.). Thechnomic Publishing Company. Pennsylvania, USA.

- He, J., Giusti, M.M. 2010. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annu Rev Food Sci Technol* 1,163–87.
- Ibarra-Alvarado, C., Rojas, A., Luna, F., Rojas, J., Rivero-Cruz, B., & Rivero-Cruz, J. (2009). Vasorelaxant Constituents of the leaves of *Prunus Serotina* "Capulín". *Rev. Latinoamer. Quim.*, 37(2), 164-173.
- INI. (1994). Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana (Primera ed.). Ciudad de México, México: Instituto Nacional Indigenista.
- Jiménez, M., Castillo, I., Azuara, E., & Beristain, C. I. (2011). Actividad antioxidante y antimicrobiana de extractos de capulín (*Prunus serotina* subsp capulí). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(1), 29-37.
- Kelebek, H., & Selli, S. (2011). Evaluation of chemical constituents and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2530-2537.
- Lee SK, AA Kader (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content in horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20:207-220.
- Luna-Vázquez, F. I.-A., Rojas-Molina, A., Rojas-Molina, J., Yahia, E., Rivera-Pastrana, D., Rojas-Molina, A., & Zavala-Sánchez, M. (2013). Nutraceutical Value of Black Cherry *Prunus serotina* Ehrh. Fruits: Antioxidante and Antihypertensive Properties. *Molecules*, 14597-14612. doi:10.3390/molecules181214597
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objecting color measurements. *HortScience*(27), 1254-1255.
- McVaugh, R. (1951). A Revision of the North American Black Cherries (*Prunus Serotina* Ehrt., and Relatives). *Brittonia*, 279-315.
- Mercado-Mercado, G., Rosa-Carrillo, L., Wall-Medrano, A., López-Días, J., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 36-46.
- Morales, A.R. 2011. *Frutoterapia: El oro de mil colores*. EDAF. Madrid, España.
- Oliveira, C., Amaro, L.F., Pinho, O., Ferreira, I.M. 2010. Cooked blueberries: Anthocyanin and anthocyanidin degradation and their radical-scavenging activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58,9006–9012.
- Ordaz-Galindo, A., Wexche-Ebeling, P., Wrolstad, R., Rodríguez-Saona, L., & Argaiiz-Jamet, A. (1999). Purification and identification of Capulin (*Prunus serotina* Ehrh) anthocyanins. *Food Chemistry*, 201-206.
- Ordóñez-Santos, L., Ospina, M., & Rodríguez, D. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Lasallista de Investigación*, 10(2), 44-51.
- Páez-Reyes, L., Sánchez-Olarte, J., Velasco-Torres, M., Álvarez-Gaxiona, J., & Argumendo-Macías, A. (2013). Propuesta de estrategia para el mejoramiento del cultivo de capulín en los municipios de Domingo Arenas, Calpan y San Nicolás de los Ranchos. *Ra Ximhai*, 109-119.
- Pérez-Sánchez, R., Morales-Corts, M., & Gómez-Sánchez, M. (2013). Quality evaluation of sour and duke cherries cultivated in south-west Europe. *Journal Sciecest of Food and Agriculture*, 93, 2523-2530.

- Petitpierre, B., Pairon, M., Broennimann, O., Jacquemart, A., Guisan, A., & Besnard, G. (2009). Plastid DNA variation in *Prunus serotina* var. *resotina* (Rosaceae), a North American tree invading Europe. *Eur J Forest Res*, 431-436.
- Pirovani ME, AM Piagentini, DR Güemes, MC Rodriguez, AG Qüesta, RM Casóliba (2009) Calidad sensorial y nutricional de vegetales de hojas frescos y cortados: In: Aspectos Nutricionales y Sensoriales de Vegetales Frescos Cortados. Editorial Trillas. México. pp: 64-97.
- Porras-Loaiza, A., & López-Malo, A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 121-134.
- Potter, D. (2011). *Prunus*. En C. Kole, *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources, Temperate Fruits* (págs. 129-145). Berlin: Springer-Verlag.
- Pojer, E., Mattivi, F., Johnson, D., Stockley, C.S. 2013. The case for anthocyanin consumption to promote human health: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12,483-508.
- Re, R., Pellergrini, A., Proteggente, A., Pannala, M., Yang., & Rive-Evans. (1999). Antioxidant activity an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9/10), 1231-1237.
- Ringuelet, J., Viña, S. (2013) *Productos Naturales*. Universidad Nacional de la Plata. Buenas Aires. p. 76.
- Rodrigo-García J; E Álvarez-Parrilla, LA de la Rosa, G A González-Aguilar, S Ruíz-Cruz (2009) Compuestos bioactivos de frutos templados y sus beneficios en la salud: In: Aspectos Nutricionales y Sensoriales de Vegetales Frescos Cortados. Editorial Trillas. México. pp: 195-230.
- Reynoso-Camacho, R.; Ramos-Gómez, M.; Loarca-Pina, G. 2006. Bioactive Components in Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.), pp. 217-236. In: *Advances in Agricultural and Food Biotechnology*; GUEVARAGONZÁLEZ, R.; TORRES-PACHECO, I. (eds.). Research Signpost, Trivandrum, India.
- Rosenthal, G., & Berenbaum, M. (2012). *Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites: The Chemical Participants* (2 ed., Vol. 1). San Diego, California, EUA: Academic Press.
- Usenik, V., Fajt, N., Mikulic-Petkovsek, M., Slatnar, A., Stampar, F., & Veberic, R. (2010). Sweet cherry pomological and biochemical characteristics influendec by rootstock. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 4928-4933.
- Waterman, P. G. and S. Mole. 1994. Analysis of phenolic plant metabolites. *Methods in Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 238 p.
- Wojdylo, A., Oszmianski, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 105(3), 940-949.