



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**LAS BETALAÍNAS COMO COMPONENTES BIOACTIVOS DE LOS
ALIMENTOS FUNCIONALES**

**TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN QUE PARA
OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

ANABEL SAHAGÚN BONILLA



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX.

2016

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: M. EN C. LUCIA CORNEJO BARRERA
VOCAL: M. EN C. ARGELIA SÁNCHEZ CHINCHILLAS
SECRETARIO: M. EN C. TANIA GÓMEZ SIERRA
1er. SUPLENTE: M. EN C. JEANETTE ADRIANA AGUILAR NAVARRO
2° SUPLENTE: Q.A JESÚS ANTONIO BEAZ RIVERA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIBLIOGRÁFICAS, BIBLIOTECA DE FARMACIA Y ALIMENTOS, EDIFICIO E DE LA FACULTAD DE QUÍMICA. BIBLIOTECA DE ESTUDIOS PROFESIONALES, EDIFICIO B DE LA FACULTAD DE QUÍMICA.

ASESOR DEL TEMA:

M. EN C. TANIA GÓMEZ SIERRA

SUSTENTANTE:

ANABEL SAHAGÚN BONILLA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a mi asesora de tesis la Maestra Tania Gómez Sierra por permitirme trabajar con ella, por su paciencia, su tiempo y por guiarme en uno de los trabajos más importantes de mi vida, mi proyecto de titulación.

Agradezco a mi honorable jurado por cada una de las correcciones que me hicieron para pulir este trabajo a presentar, por su tiempo, apoyo y sabiduría.

Gracias a los profesores que compartieron su conocimiento y experiencia conmigo, me llevaré un poco de cada uno de ellos en mi vida laboral.

Agradezco a la Facultad de Química porque se convirtió en mi segundo hogar y me brindó todos los recursos para culminar mis estudios. Me siento muy orgullosa de pertenecer a esta maravillosa facultad.

Pero sobre todo agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, la máxima casa de estudios por formarme como ser humano y proveer en mí humildad, integridad, carácter y valores para servir y aplicar mis conocimientos en mi país, mi México lindo y querido.

Por mi raza hablará el espíritu.

DEDICATORIAS

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis hermanos Arlet Sahagún y Alex Sahagún porque son mi inspiración a ser la mejor en todo lo que hago, soy inmensamente feliz por tenerlos en mi vida y espero que se sientan tan orgullosos de mí como yo lo estoy de ellos.

A mis padres Armando Sahagún y Leticia Bonilla porque gracias a su inmenso amor, apoyo y exigencias he tenido grandes logros en mi vida y mucha felicidad.

A mis abuelitas Ofelia Quiroz y Carmen Montero por todo el amor y consejos que siempre me dan, son el mejor regalo que la vida me dio.

A mi abuelito Roberto Sahagún por ser un maestro de vida y regalarme tantos momentos felices, sé que en donde quiera que esté debe sentirse muy feliz y orgulloso de mí.

A mi hermana mayor Araceli Aviña porque ha sido un gran ejemplo para mí, me ha brindado su amistad incondicionalmente y ha sido mi compañera de vida desde la infancia.

A Karla Tapia, Erika Olmedo y Patsy Espinosa por todas las aventuras, risas y locuras que hemos compartido, porque pase lo que pase siempre seremos mueganitos.

A Jorge Luna por escucharme y alentarme en todo momento.

A mi gran amiga, Berenice Cortés por llenar cada momento de alegría, reflexión y locura.

A mis grandes amigos de la facultad, Rodrigo Guevara, Hugo Morales, Thalía Dávila, Mariana Vázquez y Hans López por su valiosa amistad, por su apoyo y por hacer de la facultad un segundo hogar para mí.

A mis tíos por hacerme notar la maravillosa familia que tengo en cada una de las reuniones familiares y por cada uno de sus consejos.

A mis pequeños primos que siempre llenan de alegría la casa y a mis primas que son mis grandes amigas.

ÍNDICE

	PÁGINAS
1.INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
3. ALIMENTOS	3
3.1 Clasificación.....	4
3.2 Alimento funcional.....	7
3.2.1 Compuesto bioactivo	11
3.2.2 Nutraceuticos	13
4. BETALAÍNAS	16
4.1 Fuentes de betalaínas en plantas	21
4.1.1 Tuna roja.....	23
4.1.2 Pitaya roja	25
4.1.3 Betabel.....	27
4.2 Estabilidad de las betalaínas	29
4.3 Aplicaciones de las betalaínas.....	35
5. BENEFICIOS A LA SALUD DE LAS BETALAÍNAS	38
5.1 Propiedades antioxidantes.....	38
5.2 Propiedades anticancerígenas.....	42
5.3 Efectos hipolipemiantes	43
5.4 Actividad antimicrobiana	44
6. DISCUSIÓN	46
7. CONCLUSIONES	48
8. BIBLIOGRAFÍA	49

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINAS
Tabla 1. Clasificación de los alimentos y ejemplos de los diferentes grupos de alimentos	5
Tabla 2. Ejemplos de alimentos funcionales, cantidades contenidas y posible efecto a la salud	13
Tabla 3. Ejemplos de nutraceúticos, matriz de la que provienen y efecto a la salud	14
Tabla 4. Clasificación general de las betacianinas	19
Tabla 5. Clasificación general de las betaxantinas	20
Tabla 6. Contenido de betalaínas totales, betacianinas, betaxantinas y fenoles solubles en dos muestras de pitaya de mayo (<i>Stenocereus griseus</i> H.) expresado en mg/100 g de muestra seca. ..	26
Tabla 7. Contenido fenólico y de betalaínas presentes en el extracto de pulpa de betabel después de la purificación por extracción en fase sólida.....	28
Tabla 8. Aplicaciones del polvo de betabel como Colorante Natural en Productos Alimenticios	36
Tabla 9. Valores de EC ₅₀ de extracto de pulpa de betabel y controles	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINAS
Figura 1. Artículos de investigación sobre alimentos funcionales y nutraceuticos publicados en el periodo 1989-2009. Fuente: ISI (Instituto para la Información Científica); Bernal <i>et al.</i> (2011).	15
Figura 2. Estructura general del ácido betalámico (a), betacianinas (b) y betaxantinas (c) Fuente: Strack <i>et al.</i> , 2003.....	17
Figura 3. Postulado de la ruta biosintética de las betalaínas. Betanidina, una betacianina; indixantina, una betaxantina como ejemplos de betalaínas. Fuente: Gengatharan <i>et al.</i> (2015)	18
Figura 4. Diversas fuentes de betalaínas (A) Betabel (B) Amaranto (C) Tuna (D) Pitaya roja. Fuente: Gengatharan <i>et al.</i> (2015).....	23
Figura 5. Degradación de la betanina en condiciones alcalinas, disoluciones ácidas o procesado térmico. Fuente: Fennema, 2000.....	31
Figura 6. Algunas vías de degradación de la betanina. Fuente: Herbach <i>et al.</i> , 2004a.....	33
Figura 7. Porcentaje de DPPH reducido con cuatro concentraciones de los extractos metanólicos de betalaínas de <i>Stenocereus griseus</i> H. (Figura A: pitaya roja; Figura B: pitaya naranja). Fuente: García-Cruz <i>et al.</i> (2012).....	39

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

BA	Ácido betalámico
BHA	Hidroxibutilanisol
BHT	Butil hidroxitolueno
CDG	Ciclodopa-5-O-glucósido
CLA	Ácido Linoléico Conjugado
CONAL	Comisión Nacional de Alimentación
DHA	Ácido Docosahexanoico
DOPA	3,4-dihidroxifenilalanina
DPPH	2,2- difenil-1-picrihidrazil
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
FDA	Food and Drug Administration
FOS	Fructo-oligosacáridos
FOSHU	Food for Specified Health Uses (Alimentos de Uso Especifico para la Salud)
FUFOSE	Functional Food Science in Europe (Ciencia de los Alimentos Funcionales en Europa)
GOS	Galacto-oligosacáridos
GSH	Glutación
HDL	Lipoproteínas de alta densidad
IDR	Ingesta Diaria Recomendada
ILSI	Instituto Internacional de Ciencias de la Vida
ISI	Instituto para la Información Científica
LDL	Lipoproteínas de baja densidad
LSC	Límite Superior de Consumo
MAFF	Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación
MHLW	Secretaría de Salud, Trabajo y Bienestar
PUFA	Ácidos grados poliinsaturados
REE	Resonancia de espín electrónico
SAM:	Sistema Alimentario Mexicano
TEAC	Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (Capacidad antioxidante equivalente trolox)

1. INTRODUCCIÓN

El término alimento funcional surge en la década de 1980 en Japón, para referirse a los alimentos o productos alimenticios diseñados para proveer un beneficio específico para la salud (gastrointestinal, bucal, cardiovascular o función cognitiva) más allá de la nutrición básica. Los componentes que tienen dicho efecto y forman parte de los alimentos se denominan compuestos bioactivos.

Los compuestos bioactivos se encuentran principalmente en alimentos de origen vegetal como frutas, vegetales y granos, aunque también se encuentran en alimentos de origen animal en menor medida. Los efectos en la salud de estos compuestos se han estudiado para comprobar su efectividad como antioxidantes, antiproliferativos (intervienen en la replicación de células cancerosas), hipocolesterolémicos, antibacterianos, antivirales y antiinflamatorios. Un ejemplo de estos compuestos son las betalaínas, las cuales son un grupo de pigmentos hidrosolubles presentes en el betabel, acelgas de color, hojas y grano de amaranto y en las frutas cactáceas, las cuales se han asociado con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, hepatoprotectoras y antitumorales, principalmente.

El interés de la población por consumir alimentos que les aporte un beneficio específico a la salud se ha ido incrementando debido a los problemas nutrimentales y el estilo de vida actual, de tal manera que al conocer los efectos en la salud de los componentes bioactivos se podría favorecer su consumo y su uso para el diseño de los alimentos funcionales. En el presente trabajo monográfico se presentarán las características de los alimentos funcionales y de los compuestos bioactivos, específicamente de las betalaínas, así como los estudios realizados para mostrar el efecto asociado al consumo de éstas y los mecanismos propuestos.

2. OBJETIVOS

- Presentar los diversos conceptos de alimento funcional y las condiciones que un alimento debe cumplir para considerarse como tal, así como mencionar el concepto de un compuesto bioactivo y un nutraceutico para definir la relación y las diferencias que existen entre éstos.
- Conocer e identificar las propiedades de las betalaínas para su uso en la industria alimentaria y las diferentes fuentes en las que se encuentran.
- Describir los efectos biológicos de las betalaínas como componentes bioactivos para promover su inclusión en la dieta.

3. ALIMENTOS

Un alimento puede definirse como “los órganos, tejidos o secreciones de organismos de otras especies, que contienen concentraciones apreciables de uno o más nutrimentos (sustancia que cumple con una función metabólica y que proviene habitualmente de la dieta), cuya ingestión en las cantidades y formas habituales es inocua, que por su disponibilidad y precio son ampliamente accesibles, y que sensorial y culturalmente son atractivos” (Bourges, 2001; Casanueva, 2001).

De acuerdo a la definición anterior, prácticamente todos los organismos podrían considerarse como alimento debido a que tienen al menos un nutrimento, sin embargo, ante un número tan grande de posibilidades y debido a la gran cantidad de especies existentes, se consideran las siguientes características para su inclusión (Casanueva, 2001):

- a) Contener nutrimentos biodisponibles en concentraciones que ameriten atención. La biodisponibilidad se describe como el grado en el cual los nutrimentos se liberan y se absorben en el aparato digestivo. Depende de la forma química de los nutrimentos, de que los componentes presentes sean digeribles por las enzimas digestivas humanas y de la presencia de factores antinutrimientales en los alimentos.
- b) Relativamente inocua; que no cause daño a la salud de los consumidores, ya que las sustancias nocivas para la salud pueden estar presentes de manera natural como resultado del metabolismo propio de la especie o porque el alimento fue contaminado accidentalmente.
- c) Accesible en su precio de venta y en la cantidad producida para que la población pueda adquirirlo.
- d) Atractivo sensorial; es decir, que sea atractivo a los sentidos (olfato, gusto, vista) de los consumidores.
- e) Aprobado por la cultura, ya que una persona difícilmente comería lo que su cultura no aprueba, debido a las reglas y jerarquías que rigen su conducta.

3.1 Clasificación

Los alimentos se clasifican en grupos con base a diferentes criterios; por ejemplo: basándose en su función, en criterios taxonómicos y anatómicos, atributos sensoriales (como color, aroma, textura), a las concentraciones de sus componentes y nutrimentos, a su vida de anaquel, al costo-beneficio del consumo de los mismos, por mencionar algunos. A continuación se presentan algunas de las clasificaciones de los alimentos.

Función

Durante los años setenta el Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán utilizó una clasificación de los alimentos de cuatro grupos principales: leche y queso, carnes y huevo, frutas y verduras, cereales y leguminosas. En la siguiente década cambió, ya que los cereales y leguminosas se incluían en el mismo grupo y no permitía la complementación, quedando en los tres grupos que ahora se manejan: cereales, leguminosas y productos de origen animal, frutas y verduras (Casanueva, 2001; Ortiz *et al.*, 2013). Esta agrupación recibió amplia difusión por parte del Sistema Alimentario Mexicano (SAM) entre 1980-1982, sin embargo se les llamaba:

- Fuente de energía: primarias (cereales y raíces de tubérculos) y secundarias (azúcares y lípidos).
- Fuente de proteínas: leguminosas, oleaginosas, carnes, leche y huevo.
- Fuente de nutrimentos inorgánicos y vitaminas: frutas y verduras.

En 1987, la Comisión Nacional de Alimentación (CONAL) acordó mantener los nombres originales de dicha clasificación, ya que se consideró confuso llamar a los alimentos con nombres de componentes químicos (Ortiz *et al.*, 2013). Posteriormente, a finales de la década de los noventa, por medio de la Secretaría de Salud se derivó un Proyecto de Norma Oficial Mexicana, la NOM-043-SSA2-2005, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación. Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 23 de enero de 2006. Dichos criterios sirvieron como base para clasificar a los alimentos por su función como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los alimentos y ejemplos de los diferentes grupos de alimentos

Semillas maduras de los cereales + tubérculos+ derivados	Tejidos vegetales frescos	Semillas maduras de leguminosas y oleaginosas+ tejidos animales+ leche+ huevo
<p>Maíz: tortilla, tamal, pozole, atole, etcétera.</p> <p>Trigo: pan blanco y dulce, pastas para sopa, galletas, etcétera.</p> <p>Arroz</p> <p>Avena</p> <p>Cebada</p> <p>Centeno</p> <p>+</p> <p>Papa</p> <p>Camote</p> <p>Yuca</p>	<p>Raíces: zanahoria, jícama, rábano, etcétera.</p> <p>Tallos: apio, nopales, romeritos, etcétera.</p> <p>Hojas: acelga, berros, espinaca, verdolaga, quelites, etcétera.</p> <p>Flores: flor de calabaza, colorín, huauzontle, alcachofa, coliflor, brócoli, etcétera.</p> <p>Frutos: coco, ciruela, chayote, chabacano, chile, chirimoya, guanábana, guayaba, jitomate, limón, mamey, nanche, naranja, pimiento, pitaya, tejocote, tomate, zapote, etcétera.</p>	<p>Frijol</p> <p>Haba</p> <p>Garbanzo</p> <p>Lenteja</p> <p>Alverjón</p> <p>Alubia</p> <p>Ayocote</p> <p>Cacahuete</p> <p>Ajonjolí</p> <p>Nuez</p> <p>Piñón</p> <p>Soya</p> <p>+</p> <p>Tejidos animales: res, carnero, conejo, chivo, puerco, pescado, marisco</p> <p>+</p> <p>Leche de vaca</p> <p>Otras leches</p> <p>Quesos</p> <p>Yogurt</p> <p>+</p> <p>Huevo de gallina</p> <p>Huevo de otras aves</p>

Fuente: Casanueva, 2001

En esta clasificación se incluyen la mayoría de los alimentos de consumo común en México y cuya presencia simultánea hace que la dieta pueda ser completa (que contenga todos los nutrimentos) y equilibrada (las proporciones apropiadas entre los nutrimentos) debido a que se complementan entre sí.

Biológica

En esta clasificación se utilizan criterios taxonómicos y anatómicos debido a que los alimentos son especies vegetales y animales (Casanueva, 2001).

- I. Especies vegetales
 - A. Órganos y tejidos frescos de plantas superiores
 - B. Hongos
 - C. Algas
 - D. Semillas maduras de:
 - a) Ciertos pastos
 - b) Algunas plantas leguminosas
 - c) Plantas amarantáceas y quenopodiáceas
 - d) Otras familias de plantas

- II. Especies animales
 - A. Leche humana
 - B. Leche de otras especies
 - C. Órganos y tejidos animales
 - D. Huevos
 - E. Insectos

Económica

Se utiliza para la planificación de la canasta de los alimentos de un país o una región para orientar a la población al comprar alimentos y para una mejora en los servicios de alimentación en comedores institucionales; se pueden dividir en una forma general en: caros, baratos e intermedios, pero es más

útil calcular el costo por la cantidad de un componente o nutrimento en distintos alimentos, a lo que se le llama “eficiencia económica de los alimentos”, es decir, su aporte por unidad de precio o bien, el costo por cierta cantidad de un componente o nutrimento en distintos alimentos (Casanueva, 2001).

Bromatológica

La bromatología utiliza como criterios de clasificación las concentraciones de componentes y nutrimentos, pero también puede usar como criterios la facilidad de conservación de los alimentos (en perecederos, semiperecederos y no perecederos), el contenido de agua y la actividad de agua, la miscibilidad, la resistencia al calor, entre otros (Casanueva, 2001).

3.2 Alimento funcional

Actualmente ha incrementado el interés de la población por una alimentación saludable: es decir, preferir el consumo de alimentos que les aporte algún beneficio adicional en la salud, más allá de la nutrición básica. Por ejemplo reducir el riesgo de padecer diversas enfermedades como: problemas relacionados con la osteoporosis, cáncer, cardiovasculares, del sistema inmune, gastrointestinales, entre otras, y que además provengan de fuentes naturales. Consecuentemente se comenzaron a comercializarse en el sector alimenticio los llamados “alimentos funcionales” (Badui, 2006).

El término “alimento funcional” surge en la década de 1980, en Japón, para definir “aquellos alimentos que tienen funciones fisiológicas, incluyendo la regulación de los biorritmos, el sistema nervioso, el sistema inmune y la defensa del cuerpo más allá de los nutrimentos que aportan”. Para la regulación de dichos alimentos, la Secretaría de Salud, Trabajo y Bienestar (MHLW) de Japón creó en 1991 un organismo especializado para la regulación de los “alimentos funcionales” llamado Alimentos de Uso Específico para la Salud (FOSHU) (Shimizu, 2003). Dicha autoridad estableció tres condiciones que deben cumplir los alimentos para ser considerados como “funcionales”:

- ✓ Ser ingredientes de origen natural (no cápsulas, comprimidos o polvos)
- ✓ Ser consumidos como parte de la dieta habitual
- ✓ Mejorar o regular un proceso biológico en particular, o bien, prevenir o controlar alguna enfermedad específica cuando se consuman dichos alimentos (Hardy, 2000).

En agosto de 1995, la Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAFF) de Reino Unido, definió temporalmente a los alimentos funcionales como “un alimento que tiene un componente integrado en él para aportar un beneficio médico o fisiológico específico, u otro efecto nutricional” (Kwak *et al.*, 2001).

Posteriormente, el Instituto Internacional de Ciencias de la Vida (ILSI) de Europa elaboró, coordinó y financió un proyecto llamado FUFOSSE (Functional Food Science in Europe, Ciencia de los Alimentos Funcionales en Europa) que estaba integrado por expertos en nutrición y medicina, creado con la finalidad de evaluar críticamente la situación de los alimentos funcionales, utilizando evidencia existente tanto en la literatura como científicamente. De ello surgió, en 1999, el documento de consenso: “Conceptos científicos sobre los alimentos funcionales en Europa”. Dicho consenso se desarrolló en tres etapas fundamentales:

- La evaluación crítica de la base científica requerida para evidenciar que determinados nutrientes y componentes alimentarios afectan positivamente a determinadas respuestas biológicas del organismo.
- El examen de los conocimientos científicos disponibles a partir de una perspectiva basada en la función más que en el producto.
- La elaboración de un consenso sobre modificaciones selectivas de los alimentos y los constituyentes alimentarios y sobre las posibles alternativas para sus aplicaciones (Howlett, 2008).

A partir de este consenso la FUFOSSE propuso que un alimento podría ser considerado como ‘funcional’ si “el alimento demostraba satisfactoriamente tener efectos benéficos sobre una o más funciones en el organismo, más allá del efecto nutricional, de tal manera que mejore el estado de la salud, bienestar y reduzca el riesgo de contraer enfermedades”. Estos efectos deben alcanzarse cantidades normales de consumo del alimento en una dieta (Amitava, 2014).

La FDA (Food and Drug Administration, Administración de Alimentos y Medicamentos) los clasifica como “alimento médico” al cual define como “formulado para ser consumido o administrado por vía enteral (que se absorbe en alguna parte del sistema digestivo y puede ser administrado: oral, sublingual o rectal), bajo la supervisión de un médico, el cual es destinado para el tratamiento de una enfermedad o condición para la cual los requerimientos nutricionales característicos, con una base de principios científicos reconocidos, son establecidos mediante evaluación médica”, sin embargo, esta definición está más orientada a lo que es un nutraceutico (Hardy, 2000).

Con base en las definiciones de “alimento funcional” de la FOSHU, FUFOSE y FDA se establecieron las siguientes condiciones para que un alimento pueda considerarse como funcional:

- ✓ Ocasionar un beneficio en la salud del consumidor.
- ✓ Demostrar los beneficios saludables obtenidos del consumo del alimento.
- ✓ Indicar la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) para obtener el beneficio esperado.
- ✓ Indicar el Límite Superior de Consumo (LSC) para que el efecto benéfico no ocasione ningún efecto adverso.
- ✓ Consumir de manera habitual en la dieta como cualquier alimento tradicional.
- ✓ Señalar en la etiqueta la presencia del ingrediente bioactivo y la cantidad en que se encuentra.
- ✓ Determinar el contenido del agente bioactivo a través de metodologías analíticas adecuadas.
- ✓ Demostrar las propiedades saludables del alimento funcional después de su consumo a través de “marcadores” de efecto.

Actualmente no existe una definición para los alimentos funcionales en la Normatividad Mexicana, únicamente para aquellos alimentos que han sido modificados en su composición con base en la NOM-086 ALIMENTOS Y BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS CON MODIFICACIONES EN SU COMPOSICIÓN. ESPECIFICACIONES NUTRIMENTALES; la cuál define estos alimentos como “productos a los que se les han introducido cambios por adición, disminución o eliminación de uno o más de sus nutrimentos, tales como hidratos de carbono, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales; y que forman parte de la dieta habitual”. Sin embargo, esta definición no menciona los efectos

fisiológicos producidos debido a la acción de un compuesto bioactivo presente en el alimento, mucho menos se indica en la NOM-086-SSA1-1994 la IDR para obtener el beneficio esperado por el consumo del alimento, o bien, el LSC para que no ocasione un efecto adverso, puesto que esta definición no podría ser aplicable para los alimentos funcionales.

El desarrollo de alimentos funcionales, en muchos casos se basa en la medición de “marcadores biológicos o biomarcadores” que son el resultado de una prueba química o biológica en un material biológico analizado, relacionado a cierta exposición, susceptibilidad o efecto biológico. Estos marcadores ya están identificados y validados para evaluar los posibles efectos benéficos o riesgos a la salud que podrían provocar los compuestos bioactivos presentes (Biesalski *et al.*, 2009). A continuación se presentan algunos de estos marcadores.

- Marcadores de exposición, como los que evalúan la digestibilidad y fermentabilidad o, en términos generales, la accesibilidad biológica.
- Marcadores de funciones blanco y respuestas biológicas, como cambios en los fluidos o tejidos corporales, en los niveles de un metabolito, de una proteína o de una enzima, o marcadores que guardan relación con un cambio en una función determinada, por ejemplo: la fuerza muscular, el consumo máximo de oxígeno, la cognición o el tránsito intestinal.
- Marcadores de criterio intermedio de valoración de un mejor estado de salud y bienestar, de la reducción de un riesgo de enfermedad, o de ambos, tales como la medición de un proceso biológico asociado directamente al criterio de valoración. Por ejemplo: la medición de los niveles de hemoglobina en relación con la anemia o la medición del engrosamiento de las paredes arteriales en relación con la enfermedad cardiovascular (Howlett, 2008).

Para que un biomarcador pueda considerarse viable, debe ser fácil de usar, tener una buena sensibilidad, especificidad, aplicabilidad y relevancia, particularmente en la salud. Además de estar validado de acuerdo a metodologías prácticas y el efecto medido por el marcador debe ser fisiológica y estadísticamente significativo (Biesalski *et al.*, 2009).

3.2.1 Compuesto bioactivo

Los compuestos bioactivos son compuestos orgánicos que forman parte de los alimentos y que pueden tener un efecto en la salud de las personas (Biesalski, 2009). O bien, se pueden definir como constituyentes extranutricionales que existen típicamente en pequeñas cantidades en alimentos (Kris-Etherton *et al.*, 2002). Estos compuestos se encuentran en los alimentos denominados funcionales, o bien, en forma farmacéutica como nutracéuticos, en los cuales es incorporado el compuesto activo en forma de enzimas funcionales, probióticos, prebióticos, fibra, fitoesteroles, péptidos, proteínas, isoflavonas y saponinas; su principal función es el tratamiento o prevención de enfermedades por medio de su actividad como antioxidantes, antimicrobianos, inmunomoduladores, hipocolesterolémicos, por mencionar algunos (Bonilla *et al.*, 2015).

Los compuestos bioactivos se extraen usualmente de la fuente natural proveniente mediante técnicas de extracción con disolventes (con disolventes orgánicos de diferentes polaridades), considerando factores importantes como tiempo y temperatura de extracción. También pueden emplearse técnicas de extracción sólido-líquido, extracción con sistemas de reflujo, u otros métodos no convencionales como ultrasonido, campo eléctrico pulsante, digestión enzimática, extrusión, calentamiento por microondas, calentamiento óhmico o extracción con fluidos supercríticos, dichos métodos son más favorables para el medio ambiente debido a la disminución del uso de químicos sintéticos y orgánicos, a la reducción del tiempo de funcionamiento, la mejora de rendimiento de extracto y la calidad (Fernández *et al.*, 2015).

Recientemente, más del 80% de los compuestos activos en alimentos y más del 30% de medicamentos son producidos a partir de la extracción de compuestos bioactivos provenientes de productos naturales como extractos de plantas, ya que éstos compuestos pueden ser usados como ingredientes funcionales o para la producción de medicamentos y cosméticos (Bonilla *et al.*, 2015).

En la Industria Alimentaria se han utilizado en los últimos años los siguientes compuestos bioactivos:

- **Probióticos y Prebióticos:** los probióticos entre los que se encuentran los *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, mientras que en los prebióticos se encuentran los fructo-oligosacáridos (FOS), galacto-oligosacáridos (GOS) y la inulina.
- **Compuestos proteínicos:** Algunos de ellos son la lactoferrina, lactoperoxidasa, lisozima, inmunoglobulinas, concentrados proteínicos y proteínas de soya.
- **Compuestos lipídicos:** Éstos incluyen los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA).
- **Antioxidantes:** polifenoles, flavonoides, β -caroteno, licopeno y betalaínas.

Recientemente se han introducido en la Industria Alimentaria nuevos ingredientes funcionales, tales como el aloe vera y las catequinas (Cruz, 2011).

Los fitoquímicos se consideran componentes bioactivos de la planta que se pueden encontrar en frutas, vegetales, granos y otros alimentos vegetales, los cuales están relacionados a la reducción de enfermedades crónicas, por su capacidad antioxidante, antiproliferativo (intervienen en la replicación de células cancerígenas), hipocolesterolémico, estimulante de enzimas y hormonas, antibacterianos, antivirales y anti-inflamatorios (Kuhnen *et al.*, 2009). Dentro de este grupo de fitoquímicos se pueden dividir en: carotenos, compuestos fenólicos, alcaloides, compuestos nitrogenados y compuestos organosulfurados.

En la Tabla 2 se muestran algunos ejemplos de alimentos funcionales, su compuesto bioactivo identificado y el efecto benéfico relacionado.

Tabla 2. Ejemplos de alimentos funcionales, cantidades contenidas y posible efecto a la salud

Alimentos	Compuesto bioactivo	Cantidades	Posible efecto a la salud
Tomates	Licopeno	45.902 µg/100 g	Actividad antioxidante, protección contra el estrés oxidante, hipertensión arterial, aterosclerosis y diabetes mellitus. Prevenir cáncer de próstata y estómago.
Salmón	Ácido Docosahexanoico (DHA)	18.23 g/100 g	Prevenir enfermedades cardiovasculares, antihipertensivo, antioxidante, para prevenir el cáncer y funciones neuroprotectoras.
Yakult (Yakult)	<i>Lactobacillus casei</i> Shirota	10 ⁸ UFC/mL	Equilibrar la microbiota intestinal, mejora de la digestión, disminución de molestias del estreñimiento, prevenir infecciones gastrointestinales y regular el sistema inmune.
Zanahoria	β-caroteno	8.285 µg /100g	Propiedades antioxidantes, para el proceso de la cicatrización.
Almendras	Tocoferoles	25.6 mg/100 g	Disminuye el colesterol en la sangre, inhibe la oxidación de lípidos.
Carne de cordero	Ácido Linoléico Conjugado (CLA)	0.724 g/ 100 g	Reduce el riesgo de cáncer de mama, aterosclerosis y de diabetes mellitus tipo 2.

Fuente: Kaur, 2011; USDA, 2015

3.2.2 Nutraceuticos

Actualmente una gran variedad de ingredientes bioactivos de diversos alimentos han comenzado a comercializarse en forma farmacéutica, ya sea en píldoras, cápsulas, soluciones, geles, líquidos, polvos, granulados, entre otros. Dichos ingredientes provienen de extractos de alimentos o extractos

fitoquímicos enriquecidos a los cuales se les ha atribuido una función fisiológica benéfica. A estos compuestos se les ha clasificado como “nutraceúticos”. El término “nutraceútico” fue creado en 1989 por Stephen DeFelice, presidente de la Fundación para la Innovación en Medicina, para referirse a "Cualquier sustancia que pueda ser considerada como alimento o como parte de un alimento que proporciona beneficios médicos o de salud, incluyendo la prevención o el tratamiento de una enfermedad” (Prasad *et al.*, 2010).

Sin embargo, existe una definición más reciente definida por Zeisel (1999) que describe a los nutraceúticos como “un suplemento dietético que proporciona la forma concentrada de un compuesto bioactivo proveniente de un alimento, el cual se encuentra presente en una matriz no alimenticia y se utiliza con el propósito de mejorar la salud en dosis que exceden la cantidad que podría obtenerse a partir del consumo normal del alimento” (Bernal *et al.*, 2011). En la Tabla 3 se muestran algunos ejemplos de nutraceúticos que actualmente se comercializan.

Tabla 3. Ejemplos de nutraceúticos, matriz de la que provienen y efecto a la salud

Nutraceútico	Matriz	Posible efecto a la salud
Cápsulas de β -caroteno y licopeno	Frutas de Tailandia	Antioxidante, anticancerígeno, prevención de enfermedades degenerativas y para el cuidado de la piel
Tabletas de Glucosamina	Preparados nutraceúticos	Tratamiento de la osteoartritis
Cápsulas de Isoflavonas	Leche de soya, suplementos de soya	Tratamiento de síntomas de la menopausia
Esteroles	Mariscos mediterráneos y <i>Rapana venosa</i>	Cuidado de la piel

Fuente: Bernal *et al.*, 2011

En México no existe una definición para los compuestos nutraceúticos. La Ley General de Salud (LGS) define a los Suplementos alimenticios como “Productos a base de hierbas, extractos vegetales, alimentos tradicionales, deshidratados o concentrados de frutas, adicionados o no, de

vitaminas o minerales, que se puedan presentar en forma farmacéutica y cuya finalidad de uso sea incrementar la ingesta dietética total, complementarla o suplir alguno de sus componentes”. Sin embargo, en la publicidad y etiquetado no se le pueden atribuir propiedades terapéuticas a estos productos con base en la LGS en materia de publicidad, aun cuando existan estudios previos que afirmen que el compuesto bioactivo que contiene la matriz no alimenticia tiene un efecto benéfico en la salud.

Los productos naturales obtenidos principalmente de plantas han sido utilizados como una importante fuente de agente profiláctico para la prevención y tratamiento de enfermedades en humanos y animales. Por lo que en los últimos 20 años ha incrementado el número de publicaciones de artículos de investigación en revistas científicas sobre los “Alimentos funcionales y “nutraceúticos”, como se observa en la Figura 1. Generalmente estas investigaciones se han enfocado en las propiedades benéficas de componentes naturales como fitoquímicos, proteínas y péptidos, o lípidos para la prevención de enfermedades como aterosclerosis y enfermedades degenerativas (Bernal *et al.*, 2011).

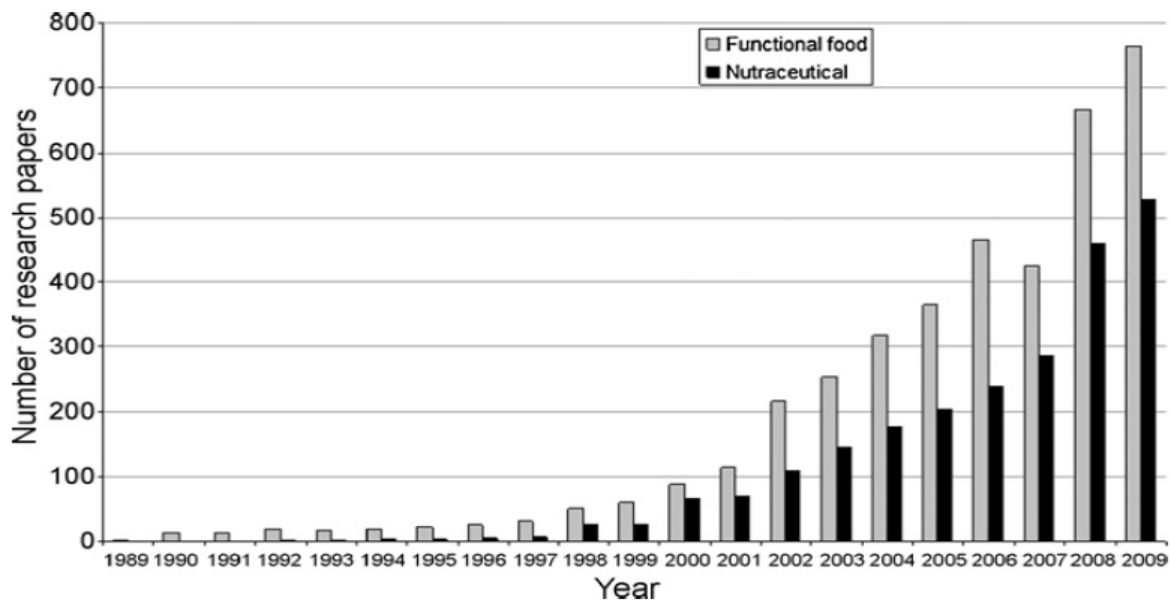


Figura 1. Artículos de investigación sobre alimentos funcionales y nutraceúticos publicados en el periodo 1989-2009. Fuente: ISI (Instituto para la Información Científica); Bernal *et al.* (2011).

4. BETALAÍNAS

Este término se refiere a un grupo de aproximadamente de 70 pigmentos hidrosolubles, con estructuras de glucósidos que son derivados de la 1,7-diazoheptametina. Las betalaínas son pigmentos heterocíclicos con propiedades similares a las antocianinas y flavonoides, anteriormente se les llamaba antocianinas nitrogenadas (Badui, 2006; Khan & Giridhar, 2015). En estudios científicos recientes se afirmó que tanto las antocianinas como las betalaínas son efectivos fotoprotectores y están asociadas con el incremento de la tolerancia a la sequía y estrés por salinidad; son potentes antioxidantes que atrapan las especies reactivas de oxígeno en plantas frente a una variedad de factores de estrés abiótico (Jain, 2015). Sin embargo, las antocianinas y las betalaínas no se encuentran en la misma planta, ya que son mutuamente excluyentes en el reino de las plantas (Stafford, 1994).

Las betalaínas, al igual que las antocianinas, se acumulan en las vacuolas celulares de las flores, frutas y hojas que las sintetizan, principalmente en la epidermis y subepidermis (Fennema, 2000; Badui, 2006).

A mediados del siglo XX fue detallada la estructura de las betalaínas por Steglich y Strack (1990). Es por ello que ahora se sabe que las betalaínas son un grupo de pigmentos alcaloides que derivan del aminoácido tirosina en dos grupos estructurales: betacianinas y betaxantinas, las cuales son determinadas dependiendo del residuo adicionado al cromóforo común, que es el ácido betalámico cuya estructura es presentada en la Figura 2 (Strack *et al.*, 2003; Jain *et al.*, 2015).

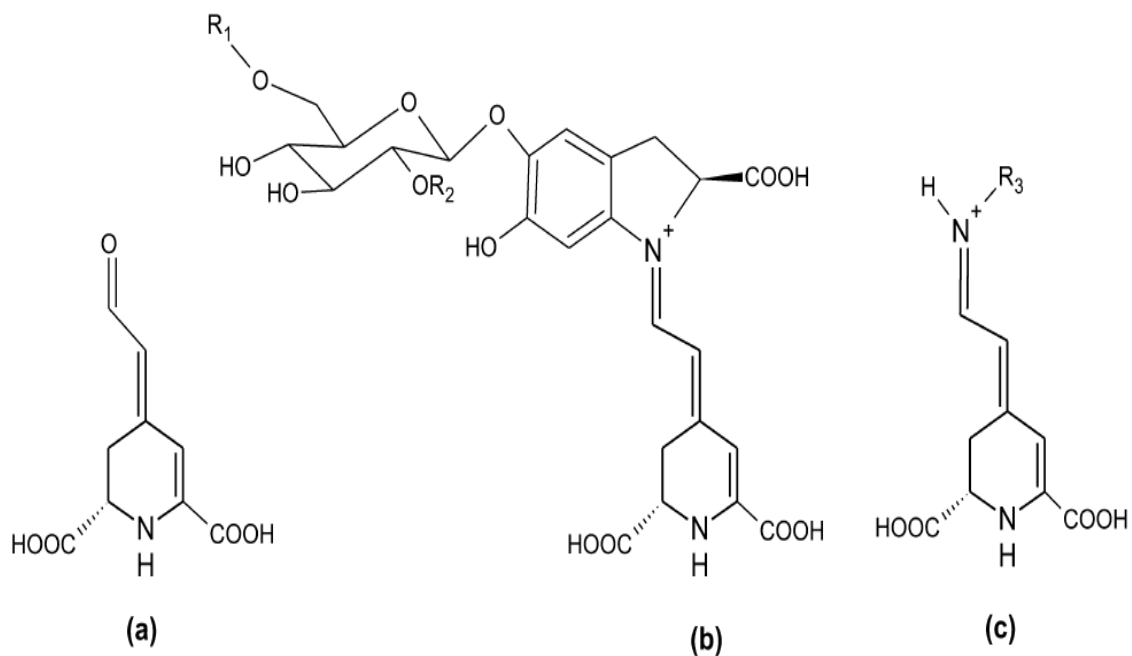


Figura 2. Estructura general del ácido betalámico (a), betacianinas (b) y betaxantinas (c) Fuente: Strack *et al.*, 2003

Las betaxantinas presentan un color amarillo/anaranjado ($\lambda_{\text{max}} \sim 470 \text{ nm}$), son productos que resultan de la condensación del ácido betalámico y compuestos amino, por lo que contienen diferentes aminoácidos o aminas en la cadena lateral. Por otro lado, las betacianinas de color rojo ($\lambda_{\text{max}} \sim 536 \text{ nm}$), son formadas por la glicosilación y acilación del 3,4-dihidroxifenilalanina (DOPA). Los pasos de la biosíntesis de betalaínas se muestran en la Figura 3, mientras que en la Tabla 4 y Tabla 5 se muestra la clasificación general de las betalaínas representadas en grupos individuales de betacianinas y betaxantinas (Delgado-Vargas *et al.*, 2000; Jain *et al.*, 2015).

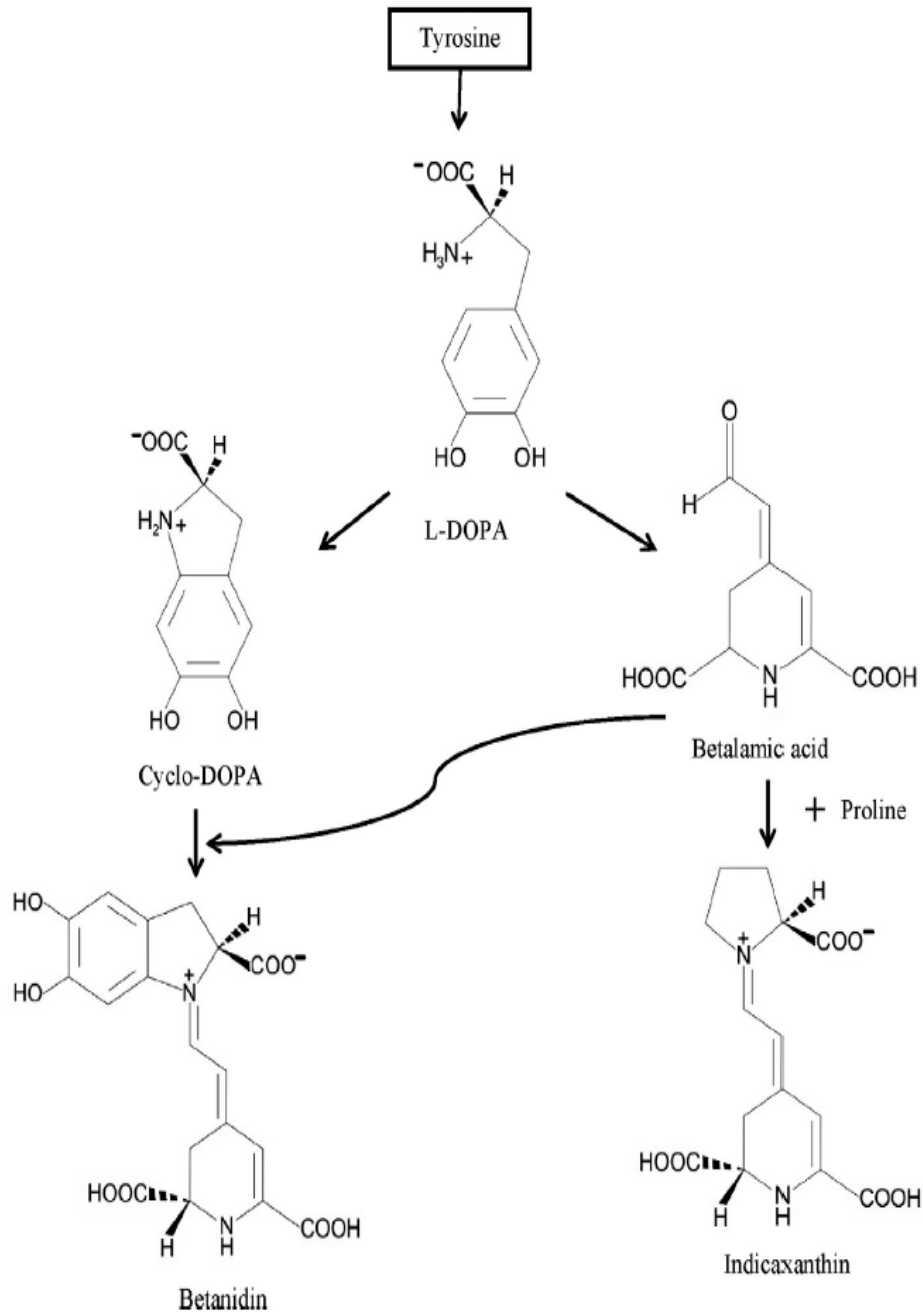
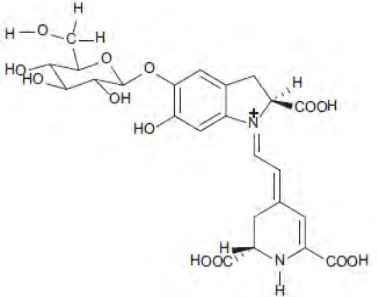
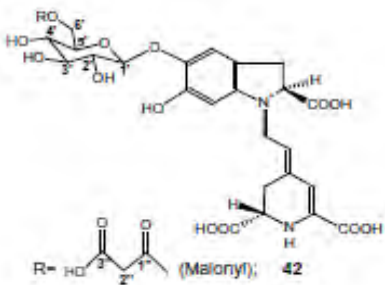
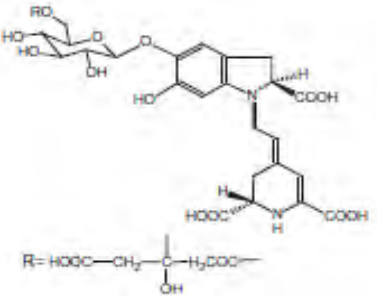
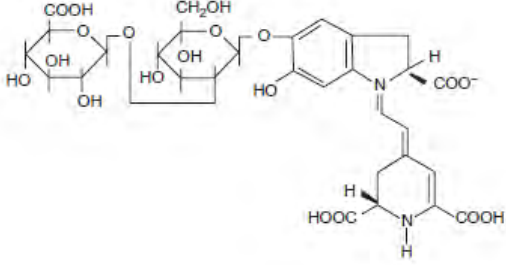
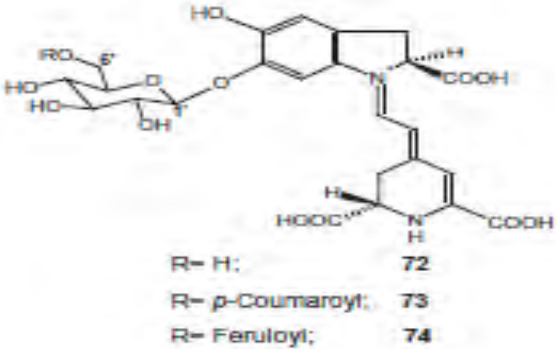


Figura 3. Postulado de la ruta biosintética de las betaláinas. Betanidina, una betacianina; indixantina, una betaxantina como ejemplos de betaláinas. Fuente: Gengatharan *et al.* (2015)

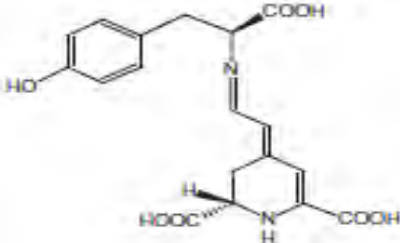
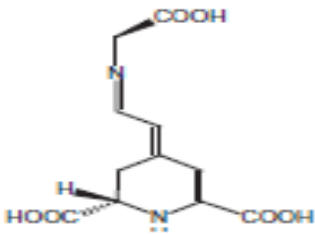
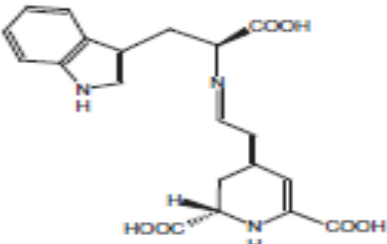
Tabla 4. Clasificación general de las betacianinas

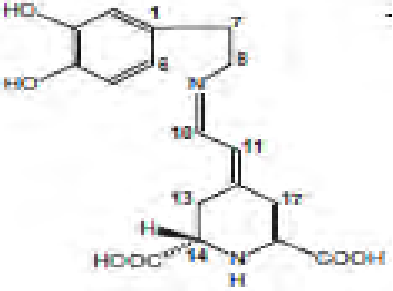
Betacianinas	
<p>Grupo de la betanina</p> <ul style="list-style-type: none"> • Filocactina • 2'-apiosil-filocactina • 2'-betanina • Hilocerenina 	<div style="text-align: center;">  <p>Betanina</p>  <p>Filocactina</p>  <p>Hilocerenina</p> </div>
<p>Grupo de Amarantina</p> <ul style="list-style-type: none"> • Amarantina 	<div style="text-align: center;">  <p>Amarantina</p> </div>

<p>Grupo de Gomfrenina</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gomfrenina clase I, II y III • Betanidina 6-O-soforosido derivados 	 <p>R= H; 72 R= <i>p</i>-Coumaroyl; 73 R= Feruloyl; 74</p> <p>Gomfrenina I (72), II (73) y III (74)</p>
--	---

Fuente: Gengantharan *et al.*, 2015; Mohammad *et al.*, 2015.

Tabla 5. Clasificación general de las betaxantinas

Betaxantinas	
<p>Grupo Conjugado derivado de Aminoácidos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Portulacaxantina II • Portulacaxantina III • Triptofano-betaxantina • Tirosina-Betaxantina 	 <p>Portulacaxantina II</p>  <p>Portulacaxantina III</p>  <p>Triptofano-betaxantina</p>

<p>Grupo conjugado derivado de aminas</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3-metoxitiroamina-betaxantina 	 <p>3-metoxitiroamina-betaxantina</p>
---	---

Fuente: Gengantharan *et al.*, 2015; Mohammad *et al.*, 2015.

4.1 Fuentes de betalaínas en plantas

Las betalaínas están restringidas a ciertas familias de las Cariofilales. Estos pigmentos se encuentran sólo en 10 familias: *Aizoaceae*, *Amaranthaceae*, *Basellanaceae*, *Cactaceae*, *Chenopodaceae*, *Didiereaceae*, *Holophytaceae*, *Nyctaginaceae*, *Phytolaccaceae* y *Portulacaceae* (Jain, 2015). Aunque también se han encontrado algunas betalaínas de origen fúngico, ya que a la fecha se han aislado betalaínas como: la betacianina violeta, la muscapurpurina, y siete betaxantinas amarillas, las muscaurinas del hongo venenoso *Amanita muscaria* (Badui, 2006).

Existe un gran número de fuentes comestibles de betalaínas, por ejemplo el betabel amarillo y rojo (*Beta vulgaris L. ssp vulgaris*), la acelga de color (*Beta vulgaris L. ssp. Cicla*), el grano u hoja de amaranto (*Amaranthus sp.*), y frutas de cactus, tales como los géneros de *Opuntia* e *Hylocereus*. Sin embargo las cuatro principales fuentes de betalaínas son: el betabel, el amaranto, la tuna y la pitaya roja, las cuales se observan en la Figura 4, siendo la más explotada comercialmente el betabel rojo (*Beta vulgaris*). *Phytolacca Americana L.* es otra fuente de betalaínas, del cual se suspendió el uso como colorante en alimentos debido a la presencia de saponinas y lectinas (Strack *et al.*, 2003; Azeredo, 2009; Gengatharan *et al.*, 2015).

El betabel rojo es cultivado principalmente en Norteamérica, Centroamérica y Gran Bretaña; *Amaranthus* es un género cosmopolita con hierbas de corta duración y en el cual existe más de 60 especies, los granos de amaranto tales como: *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus coudatus* y *Amaranthus hybridus* contienen más betacianinas en sus tejidos, en comparación al *Amaranthus tricolor* (Gengatharan *et al.*, 2015).

La familia de plantas más prometedora es la Cactaceae, dentro de esta familia se encuentra la tuna (género *Opuntia*) y la pitaya (géneros *Cereus*, *Hylocereus* y *Selenicereus*), las cuales son las frutas comúnmente cultivadas y las más adecuadas para ser estudiadas como fuente de betalainas para colorantes en alimentos, debido a que los frutos de cactus tienen requerimientos de agua y de luz muy bajos y pueden abarcar un espectro de color desde rojo-violeta (*Hylocereus* sp.) hasta amarillo-anaranjado (*Opuntia* sp.). En el caso de la *Opuntia* sp. es un género en el que se tiene un interés particular debido a la escasez de pigmentos amarillos solubles en agua en la naturaleza (Mošhammer *et al.*, 2005; Azeredo, 2009).

La tuna (*Opuntia* spp.) es principalmente distribuida en México, Latinoamérica, Sudáfrica y el Mediterráneo. Es un fruto que tiene una amplia combinación de colores que depende de la proporción de betacianina/betaxantina y sus concentraciones absolutas (Gengatharan *et al.*, 2015; Azeredo, 2009). La pitaya roja o fruta del dragón rojo (*Hylocereus polyrhizus*) es conocido por ser estéticamente agradable, de color púrpura con muchas semillas blancas pequeñas. Es una fruta con mucho éxito en el mercado europeo y estadounidense, es principalmente cultivada en Malasia, China, Okinawa, Israel y Vietnam. Es una fruta rica en betacianinas tales como: betaninas, filocactinas, hiloceréninas y sus isómeros (Gengatharan *et al.*, 2015).



Figura 4. Diversas fuentes de betalainas (A) Betabel (B) Amaranto (C) Tuna (D) Pitaya roja. Fuente: Gengatharan *et al.* (2015)

4.1.1 Tuna roja

La tuna roja del nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) forma parte del grupo de alimentos funcionales, puesto que tiene alta actividad antioxidante debido a la gran cantidad de betalainas, polifenoles y vitamina C (Tesoriere *et al.*, 2005). Estos compuestos bioactivos se caracterizan por prevenir ciertas enfermedades degenerativas como el cáncer o enfermedades cardiovasculares. En estudios

recientes se ha demostrado que las variedades de tunas rojas y púrpuras tienen una mayor actividad antioxidante en comparación con las tunas amarillas y verdes (Stintzing *et al.*, 2005).

La tuna es la fruta del nopal, es una baya ovalada con un gran contenido de semillas y de cáscara semidura con espinas. En México se reconocen 23 variedades de tunas comestibles, agrupando a las tunas blancas, púrpuras, rojas, anaranjadas y amarillas. México es el primer productor mundial, sin embargo su consumo está limitado a un determinado segmento de la población, ya que actualmente se consume en promedio 3.5 kg anuales por habitante, mientras que frutas como naranja o plátano se consumen 37.6 kg y 20.7 kg respectivamente (Corrales y Flores, 2003). Por lo que para elevar la competitividad de la tuna mexicana en el mercado nacional e internacional se han destacado las propiedades nutricionales y funcionales que tiene la tuna (Sumaya-Martínez *et al.*, 2010).

La composición química de la tuna consiste de 85% de agua, 14% azúcares y de 1% de proteína. En la pulpa los compuestos bioactivos encontrados en mayor cantidad son polifenoles y betalainas (en el caso de la tuna roja). Además, tiene altas cantidades de nutrimentos inorgánicos como calcio y magnesio y cuando la fruta es pelada, la fibra insoluble la proveen las semillas (Sumaya-Martínez *et al.*, 2010).

La tuna es una fruta que tiene dificultades para su almacenamiento y comercialización, ya que tiene una vida de anaquel de pocos días y cuando se almacena a temperatura menor de 9°C es susceptible al daño por frío, lo cual se manifiesta con hendiduras y pequeñas manchas color marrón en la cáscara (Alba *et al.*, 2014).

Una alternativa es vender las tunas como un producto mínimamente procesado, condición que involucra operaciones como lavado, eliminación de la cáscara o cortar, entre otras. Por lo que Alba y colaboradores en 2014 realizaron un estudio para evaluar el efecto de las atmósferas controladas sobre los frutos mínimamente procesados para conservar los compuestos antioxidantes como betalainas y polifenoles que contiene la tuna, utilizando una temperatura de 5°C durante 16 días de atmósferas controladas para reducir su respiración, reacciones enzimáticas, crecimiento microbiano, el ablandamiento y conservar la actividad antioxidante al mantener el contenido de polifenoles y betalainas (Alba *et al.*, 2014).

Por lo que la tuna roja podría ser otra fuente de betalaínas con características agradables al consumo humano y sería necesario promover el cultivo de tunas púrpuras, rojas y amarillas como una estrategia de innovación y comercialización de productos funcionales como la tuna mexicana para aumentar su competitividad, debido a que éstas sólo representan el 5% del total producido a escala nacional (Sumaya-Martínez *et al.*, 2010).

4.1.2 Pitaya roja

La pitaya, conocida como la fruta del dragón, de su traducción en inglés (“dragon fruit”), crece en ambientes tropicales, a diferencia del fruto de la tuna, los de este grupo contienen pequeñas semillas digeribles y no presentan las espinas típicas de la tuna (gloquidio) (Esquivel, 2004). Se ha descrito que contiene alrededor de un 82 a 88% de agua, con un contenido de sólidos solubles totales de 7 a 11%. El contenido de sólidos solubles está constituido básicamente por glucosa y fructosa, varía desde 30 a 55 g/L y 4 a 20 g/L, respectivamente, dependiendo del genotipo (Stintzing *et al.*, 2003; Vaillant *et al.*, 2005) y es rica en hierro, calcio y fósforo.

El género *Hylocereus undatus* es la especie de cactus trepador más distribuida a nivel mundial. Los frutos del género *Hylocereus* son bayas de tamaño variable, pudiendo alcanzar hasta 1 kg de peso por fruto y poseen brácteas. La cáscara es generalmente roja mientras que el color de la pulpa puede variar de rojo-púrpura hasta blanco. La pulpa es jugosa y contiene numerosas semillas; resisten hasta siete días a temperatura ambiente y se pueden almacenar hasta 14 días a temperaturas de 10 a 12 °C. El tiempo de almacenamiento se puede aumentar a temperaturas más bajas, pero al transferirse a temperatura ambiente los frutos tienden a desarrollar síntomas de daño por frío, tales como oscurecimiento de la cáscara (Esquivel, 2004).

De las cactáceas, las columnares (denominadas de esta forma debido a la forma de la planta), *Stenocereus* spp. son las de mayor cultivo, siendo *Stenocereus queretaroensis* la especie de mayor importancia comercial. Los frutos pesan alrededor de 100 a 200 g. La pulpa tiene un sabor dulce, puede tener diferentes tonalidades: blanco, rosado, naranja, rojo o púrpura, contiene semillas pequeñas, suaves y comestibles, las espinas son suaves y se eliminan durante la maduración. La

variedad más conocida es la de color mamey, cuyos frutos pueden pesar hasta 165 g, donde 18-24% del peso corresponde a la cáscara. La vida útil del fruto es de pocos días, tiende a partirse, lo que provoca la contaminación interior del fruto. Esta corta vida útil es la principal limitante para su comercialización (Esquivel, 2004).

Otra de las especies de cactus columnares de importancia es *Stenocereus stellatus*, conocido en México como “Xoconochtli”. Los frutos pesan entre 20 y 80 g. De igual manera los frutos varían en el color de la piel y de la pulpa (Esquivel, 2004).

Stenocereus griseus, la cual crece en condiciones más tropicales, tiene el nombre común de Pitaya de Mayo por la época de su cosecha (Esquivel, 2004) es una cactácea columnar que se encuentra en zonas áridas y semiáridas de México. Sus frutos son bayas poliespermáticas de forma globosa u ovoide, con espinas caducas; la pulpa es jugosa y puede ser de color anaranjado, rojo o púrpura, color que se debe a las betalainas (García-Cruz *et al.*, 2012).

En un estudio realizado por García-Cruz y sus colaboradores en 2012 se determinó el contenido de betacianinas y betaxantinas presentes en la pitaya roja y la pitaya naranja. Como se observa en la Tabla 6, el contenido de betalainas totales fue mayor que el contenido de fenoles solubles, y a su vez el contenido de betalainas totales fue mayor en la pitaya roja que en la naranja, mientras que el contenido de betacianinas es más abundante en la pitaya roja y las betaxantinas en la pitaya naranja. Estos resultados mostraron que la pitaya de mayo podría ser una buena fuente de betalainas para emplearse como colorante en los alimentos.

Tabla 6. Contenido de betalainas totales, betacianinas, betaxantinas y fenoles solubles en dos muestras de pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.) expresado en mg/100 g de muestra seca.

Variedad de pitaya	Betalainas	Betacianinas	Betaxantinas	Fenoles solubles
Pitaya roja (PR)	347.3 ± 21.0	199.6 ± 24.32	147.61 ± 18.21	166.5 ± 14.4
Pitaya naranja (PN)	215.0 ± 36.2	37.6 ± 7.54	177.37 ± 30.18	52.8 ± 3.8

Fuente: García-Cruz *et al.*, (2012).

4.1.3 Betabel

El betabel o remolacha es una planta bianual que para florecer requiere vernalización, tiene un sistema de raíces muy profundo y ramificado. La raíz se forma durante el primer año, es carnosa y pivotante, un corte transversal en ella muestra bandas circulares alternas de tejidos almacenadores y conductores de nutrimentos y puede llegar a medir de 1.8 a 2.0 m. Su color puede ser rojo o morado, debido a las betalainas (Gregorio, 2010).

La composición química del betabel es de 87.5% de agua, 6.7% azúcares, 1.6% de proteínas, 2.8% de fibra y otros nutrimentos inorgánicos como hierro, magnesio, fósforo, potasio. (USDA, 2015). No se considera un vegetal popular de consumo, sin embargo, es una excelente fuente de betalainas por lo que tiene un alto contenido de antioxidantes (Lee *et al.*, 2005).

La cantidad de betacianinas y betaxantinas contenidas en el betabel puede variar dentro del rango de 0.04 a 0.21% y 0.02 a 0.14% respectivamente, dependiendo del cultivo (Azeredo, 2009). Sin embargo, de 80 a 90% del pigmento total contenido en el betabel es atribuido a las betaninas (rojo), principalmente (betanidina 5-O- β -glucósido) y su isómero C₁₅-isobetanina, mientras que la Vulgaxantina I (amarillo) representa la betaxantina predominante (Azeredo, 2009).

Uso de la pulpa de betabel como potencial comercial

En México, los residuos a partir del proceso de frutas y vegetales (cáscara, bagazo, frutas y vegetales dañados) son considerados un problema ambiental ya que no se cuenta con las políticas adecuadas para su manejo, sin embargo, dichos residuos han sido cada vez más reconocidos por obtener a partir de ellos productos de alto valor como los compuestos fenólicos y betalainas. Estos fitoquímicos provenientes de materiales de desecho derivados de la producción agroindustrial pueden ser utilizados como ingredientes funcionales y como antioxidantes naturales para poder reemplazar los antioxidantes sintéticos (Vulić *et al.*, 2012).

Por lo que Vulić *et al.* (2012) realizaron un análisis por espectrometría en donde determinaron la cantidad de compuestos fenólicos y de betalainas que contenían diferentes cultivos de betabel

(Cardeal-F1, Egyptian, Bicolor y Krestrel) y la actividad antioxidante de éstos contra radicales libres estables como: 2,2- difenil-1-picrihidrazil (DPPH), el radical hidroxilo (\bullet OH) y el radical anión superóxido O_2^{\bullet} por espectroscopía de resonancia de espín electrónico (REE), así como su actividad antiproliferativa. En la Tabla 7 se muestra el contenido de betalaínas en el extracto de pulpa de betabel.

Tabla 7. Contenido fenólico y de betalaínas presentes en el extracto de pulpa de betabel después de la purificación por extracción en fase sólida.

Variedad de Cultivo	Cardeal- F1	Egyptian	Bicolor	Krestel
Betacianinas	1.25± 0.03 ^b	0.46±0.02 ^a	1.99±0.16 ^c	0.62±0.16 ^a
Betaninas	0.175±0.008 ^e	0.038±0.001 ^e	0.362±0.017 ^e	0.368±0.017 ^e
Isobetaminas	0.069±0.003 ^e	0.021±0.001 ^e	0.177±0.008 ^e	0.093±0.004 ^e
Betaxantinas	0.74±0.02 ^{a, b}	0.29±0.01 ^a	1.76±0.04 ^{b, c}	0.46±0.01 ^a
Vulgaxantina	nd	0.003±0.001 ^e	0.007±0.003 ^e	0.004±0.002 ^e
Fenoles	6.66±0.30 ^b	1.87±0.08 ^a	11.98±0.57 ^d	8.23±0.39 ^c

^a valores expresados como mg de equivalentes de ácido gálico /g de peso seco de pulpa de betabel

^b valores expresados como mg de equivalentes de betanina/g de peso seco de pulpa de betabel

^c valores expresados como mg de equivalentes de vulgaxantina-l/g de peso seco de pulpa de betabel

^d porcentaje V:Y porcentaje de pigmentos violetas (V) a pigmentos amarillos (Y)

^e valores expresados como mg/g de peso seco de pulpa de betabel

Fuente: Vulić *et al.* (2012)

En dicho estudio se concluyó que la pulpa de betabel puede ser considerada una buena fuente de ácidos fenólicos y betacianinas con una significativa actividad antioxidante la cual es atribuida al alto porcentaje de los principales constituyentes o a la sinergia entre estos componentes. Estos desechos del proceso industrial del betabel mostraron propiedades antioxidantes eficaces en la captación de los radicales libres y buen crecimiento celular influenciado, por lo que la pulpa de betabel se podría considerar un buen aditivo en la industria farmacéutica, de alimentos y cosméticos.

4.2 Estabilidad de las betalainas

La estabilidad de las betalainas se puede alterar por factores como: pH, temperatura, actividad de agua, presencia de luz, oxígeno y metales (Badui, 2006); su estabilidad puede aumentar si se añade cierto contenido de ácido ascórbico, ácido isoascórbico, ácido eritórbito, β -ciclodextrina, glucosa-oxidasa, butil hidroxitolueno (BHT) e hidroxibutilanisol (BHA) u otros conservadores, mientras que ácidos orgánicos como el ácido láctico, ácido acético y componentes fenólicos antioxidantes no tienen efectos estabilizantes en los pigmentos (Herbach, *et al.*, 2006).

La β -ciclodextrina estabiliza las betalainas a través de la formación de un complejo (Drunkler, Fett y Luiz, 2006; Norasiha, Mimi Sakinah y Rohaida, 2009). La inclusión de antioxidantes, complejos o microencapsulación estabilizan a las betaninas mediante la quelación de metales con EDTA, ya que previenen la degradación inducida por metales (Attoe & vol Elbe, 1985).

Se ha reportado que las betacianinas son más estables que las betaxantinas a temperatura ambiente y al calentamiento, ya que las betaxantinas llegan a degradarse más rápido que las betacianinas y por su color amarillo, suelen ser enmascaradas por las betacianinas u otros compuestos presentes (Badui, 2006; Azeredo, 2009).

Al comparar la estabilidad de diferentes betacianinas, aquellas estructuras que están glicosiladas suelen ser más estables que las agliconas, probablemente debido al alto potencial de oxidarse o reducirse. Sin embargo, eso no significa que a mayor glicosilación más estables serán; algunos estudios han demostrado que la estabilidad de las betacianinas aumenta con la adición de ácidos alifáticos u aromáticos (Azeredo, 2009).

El betabel rojo tiene diversas enzimas endógenas, tales como las β -glucosidasas, fenoloxidasas y peroxidasas, las cuales si no son inactivadas adecuadamente mediante un escaldado (70 °C, 2 min), puede ocurrir una degradación de la betalaína lo que conlleva a una pérdida de color. Cabe mencionar que las betacianinas son más susceptibles a la degradación por peroxidasas que las betaxantinas (Delgado-Vargas *et al.*, 2000; Azeredo, 2009).

pH

Las betalaínas no son tan susceptibles a las rupturas hidrolíticas frente a los cambios de pH como las antocianinas; son relativamente estables en el rango de pH de 3 a 7, lo que conlleva a su aplicación en alimentos que son ligeramente ácidos (Azeredo, 2009). Por debajo del pH 3.0 el color cambia a violeta y su intensidad decrece y arriba del pH 7.0 el color es más azulado debido a un efecto batocrómico; la mayor intensidad de azul se observa a un pH 9 (Badui, 2006; Khan & Giridhar, 2015).

En condiciones alcalinas provoca la hidrólisis del enlace de la aldimina, mientras que la acidificación induce a la condensación del ácido betalámico con el grupo amino del residuo de la adición (Azeredo, 2009).

Como se muestra en la Figura 5, en condiciones alcalinas suaves, la betanina se degrada a ácido betalámico (BA) y ciclodopa-5-O-glucósido (CDG). Estos productos también se pueden formar durante el calentamiento de betaninas en disoluciones ácidas o procesamiento térmico de productos con betalaínas. Hay que considerar que para que esta reacción ocurra se requiere de agua en el medio, de lo contrario las betaninas son muy estables (Fennema, 2000).

Luz

La estabilidad de las betalainas se deteriora por exposición a la luz. La absorción de luz visible o UV excita los electrones π del cromóforo provocando un estado más energético, disminuyendo la energía de activación para la molécula e incrementando la reactividad. La degradación de las betalainas debido a la acción de la luz depende de la presencia de oxígeno, ya que los efectos que provoca en condiciones anaerobias son insignificantes comparado con condiciones aerobias (Azeredo, 2009).

Metales

Se ha reportado que algunos cationes metálicos, tales como el hierro, cobre, estaño y aluminio aceleran la degradación de la betanina. En algunos estudios se observó que el jugo de betabel es menos susceptible al impacto negativo de los iones, comparado con soluciones de betanina pura, probablemente se debe a la presencia de agentes quelantes de metales en el jugo que estabilizan la betanina (Czapski, 1990; Azeredo, 2009).

Temperatura

El factor que tiene una mayor influencia en la estabilidad de las betalainas durante el procesamiento y el almacenamiento es la temperatura. Durante el tratamiento térmico, la betanina se puede degradar por isomerización, descarboxilación o ruptura (por calentamiento o ácidos, como se indica en la Figura 6, reacciones a, b y c, causando una reducción gradual del color rojo, y eventualmente la aparición de color café. La deshidrogenación de la betanina conlleva a la formación de nuevas betaninas, provocando un cambio de coloración a amarillo (como se muestra en la reacción d de la Figura 6). La ruptura de la betanina e isobetanina puede ser inducida por condiciones alcalinas, genera el color amarillo del ácido betalámico y el aspecto incoloro del CDG. El color de las betalainas es atribuido a las estructuras resonantes de sus dobles ligaduras (Herbach *et al.*, 2004b; Azeredo, 2009; Gengatharan *et al.*, 2015).

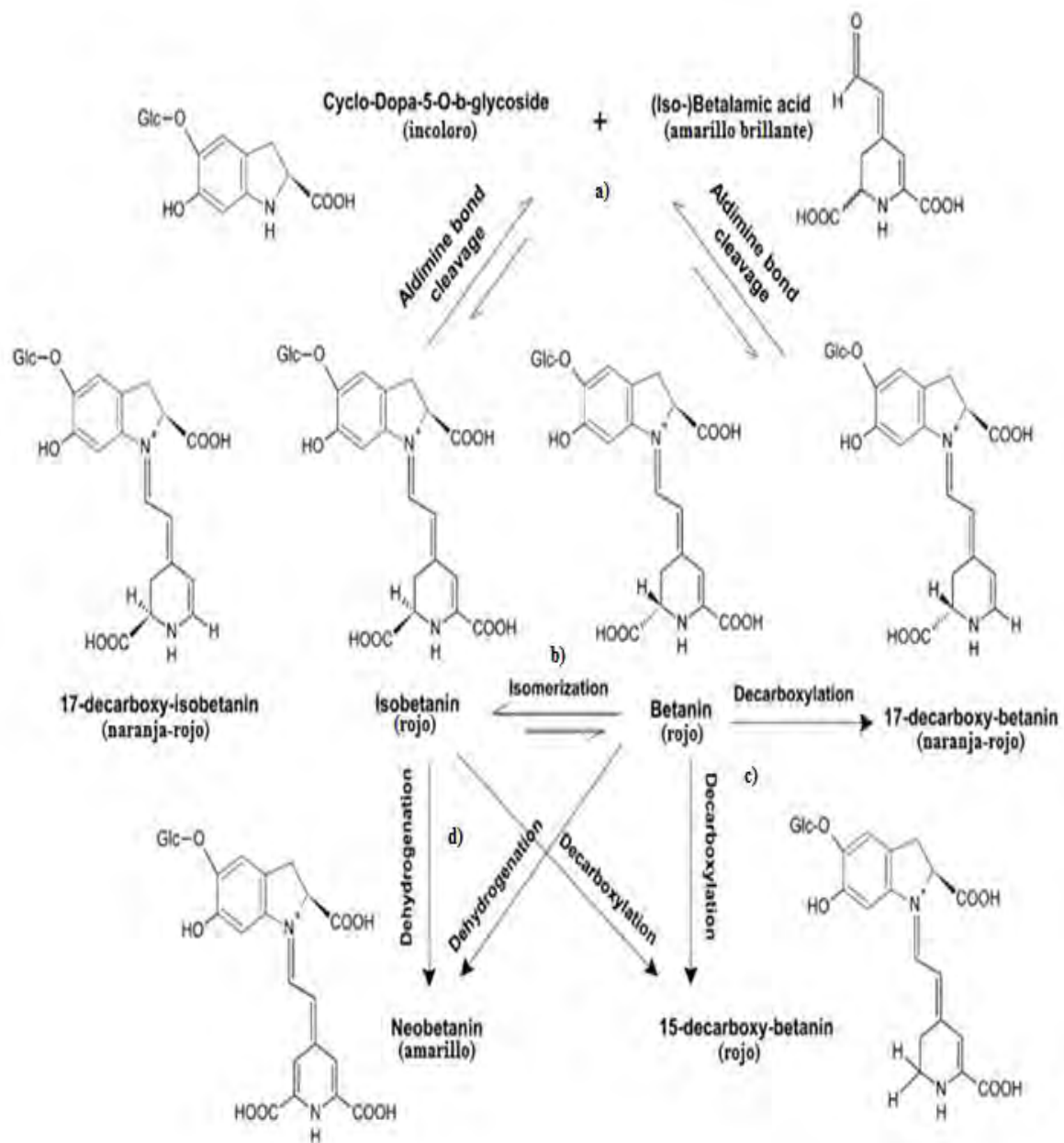


Figura 6. Algunas vías de degradación de la betanina. Fuente: Herbach *et al.*, 2004a.

Herbach *et al.* (2004a) propuso que el color de la betanina se mantiene en la isomerización o descarboxilación del C₁₅, sin embargo la descarboxilación del C₁₇ causa un cambio hipsocrómico del pico de absorción de 538 a 505 nm, resultando un color naranja-rojo (Azeredo, 2009).

Huang & von Elbe (1985,1987) afirmaron que las betaninas pueden ser regeneradas a partir de la primera degradación, debido a que los extractos se mantienen por un tiempo a 10°C y un pH alrededor de 5.0. La regeneración de la betanina consiste en una re-síntesis parcial de la betanina a partir de productos de hidrólisis, involucrando una condensación del grupo amino del ciclo-Dopa-5-O-glucósido con el grupo aldehído del ácido betalámico, de esta manera la betanina es formada rápidamente cuando ambos componentes son mezclados en la solución (Azeredo, 2009).

En años recientes, Czyzowska *et al.* (2006) dijo que la fermentación láctica también podría promover la isomerización y deshidrogenación de las betaninas (además del tratamiento térmico) debido a que las agliconas pueden ser formadas a partir de la fermentación, y que la relación betanidina/ betanina depende de la actividad de la β -glucosidasa del cultivo (Azeredo, 2009).

La degradación térmica de betacianinas en soluciones de betaninas, en el betabel rojo y zumos de pitaya morada tienen una cinética de reacción de primer orden. En el año 2005, Wybraniec identificó las betacianinas a diferentes niveles de descarboxilación con sus correspondientes productos derivados de la degradación por calentamiento de las betacianinas del jugo de betabel y en el extracto de pitaya morada. En ese mismo año Herbach *et al.* (2005) estudió los productos de degradación por calentamiento de la betanina, filocactina (malonibetanina) e hilocerenina (3-hidroxi-3-metilglutaril betanina) en el aislado de jugo de pitaya morada, en donde la ruptura hidrolítica fue el mecanismo de degradación predominante en betaninas, mientras que en la hilocerenina predominaron reacciones de descarboxilación y deshidrogenación. La degradación de la filocactina fue más compleja, ya que implica la descarboxilación del resto del ácido malónico, la generación de la betanina (por la eliminación de un grupo malonil) y subsecuentemente la degradación de la betanina. Tras un prolongado calentamiento, los productos de degradación presentan un doble enlace adicional en el C₂-C₃ (Azeredo, 2009).

Efecto de radiaciones

Las betalainas son muy susceptibles a la degradación por algunos tipos de radiación; por ejemplo, la radiación gamma puede incrementar la velocidad de degradación de betanina, y se pierde totalmente a dosis de 100 krad. La degradación por fotooxidación depende del pH, es decir, ocurre con más intensidad a pH de 3.0 que a pH de 5.0 (Badui, 2006).

4.3 Aplicaciones de las betalainas

Los materiales que contienen betalainas son generalmente macerados o molidos. Dichos pigmentos pueden extraerse con agua o en algunos casos llega a utilizarse soluciones de metanol o etanol en concentraciones de 20 a 50% para una completa extracción. No obstante Castellar *et al.*, (2006) reportó que el agua extraía más pigmentos provenientes de frutos de *Opuntia* que una mezcla de etanol-agua, además de que una extracción acuosa proporciona una mejor estabilidad de los pigmentos. La estabilidad de betacianinas se puede mejorar con una ligera acidificación en la extracción y al mismo tiempo evita la oxidación por polifenoloxidasas (Strack *et al.*, 2003). De igual manera, un tratamiento corto de calor (70 °C, 2 min) podría inactivar enzima para evitar la degradación enzimática de betalainas (Delgado-Vargas *et al.*, 2000).

A escala de laboratorio, las betalainas se pueden extraer por diferentes métodos que son más eficientes en la recuperación de las betalainas comparado con técnicas hidráulicas convencionales. Algunos ejemplos de estos métodos son: extracción por difusión, extracción sólido-líquido, osmosis inversa y ultrafiltración (Azeredo, 2009).

Diversos pigmentos comerciales se utilizan como colorantes en alimentos para cubrir la gama de color rojo-violeta. Algunos de ellos son sintéticos o artificiales, tales como azorrubina (E-122, CI Food Red 3), el amaranto (E-123, CI Food Red 9), punzó 4R (E-124, CI Food Rojo 7), eritrosina (E-127, CI Food Rojo 14), rojo 2G (E-128, CI Food Rojo 10) y rojo allura AC (E-129, CI Food Rojo 17), mientras que otros son naturales, tales como la cochinilla (E-120), rojo de remolacha (E-162) y antocianinas (E-163) (Castellar *et al.*, 2006), sin embargo una de las desventajas de los colorantes naturales es su alto costo y estabilidad en comparación con los colorantes artificiales.

En la actualidad el betabel (*B. vulgaris*) es la fuente más importante de betalaínas, el cual se utiliza para dar color a diversos alimentos como postres, productos lácteos, productos cárnicos, confitería entre otros (como se observa en la Tabla 8), pero esta raíz presenta un desagradable aroma por la geosmina por lo que se ha limitado su uso (Castellar *et al.*, 2006; Czyzowska *et al.*, 2006). El Rojo betabel o Betanina es uno de los pigmentos autorizados como aditivos por la FDA que no necesitan certificación, actualmente se comercializan como polvo de betabel, que incluye el pigmento y estabilizantes como azúcares, proteínas y antioxidantes (Badui, 2006). Este pigmento también se encuentra en el Acuerdo Nacional de Aditivos de México como Rojo betabel o Rojo remolacha (SIN: 162) y puede ser utilizado de acuerdo con las Buenas Prácticas de Fabricación por considerarse un aditivo seguro.

Tabla 8. Aplicaciones del polvo de betabel como Colorante Natural en Productos Alimenticios

Producto alimenticio	Color	Nivel de uso
Productos lácteos:		
Yogur de fresa	Rosado-rosa	0.09%
Helados	Rosa	0.25%
	Rosado-rosa	0.20%
Productos cárnicos:		
Salchicha	Rosa	600 mg/100 g
Jamón	Rosa-café	0.17%
Bebidas en polvo	Fresa	1.2%
	Frambuesa	1.5%
	Grosella	1.0%
	Congeladas	Fresa
Crema de galleta	Frambuesa	0.5 a 1.0%
	Rosa	0.28%
Productos horneados	Café	1.6%
	Rosa-Café	2.5%
Caramelo duro	Rosa	0.1%
Jaleas	Frambuesa-rojo	0.2%
Cocteles de fruta (bebidas)	Frambuesa-rojo	2.0%

Fuente: Czyzowska *et al.* (2006)

Se han propuesto a las betalainas como una alternativa para sustituir los colorantes sintéticos en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, debido a que son pigmentos que presentan una importante actividad antioxidante sin mostrar efectos tóxicos en humanos (Castellar et al., 2003). Sin embargo, las betalainas no han sido tan estudiadas como otros compuestos bioactivos responsables de dar color, debido a la escasez de estos compuestos en la naturaleza, pero gracias al creciente interés en las propiedades antioxidantes de las betalainas, algunos investigadores se han concentrado en los beneficios a la salud que proporciona el consumo de éstos (Azeredo, 2009).

5. BENEFICIOS A LA SALUD DE LAS BETALAÍNAS

Se ha demostrado que existe un incremento en la producción de especies reactivas de oxígeno y consecuentemente del estrés oxidante provocado por cambios en factores ambientales y metabólicos que podrían desencadenar en alguna patología crónico degenerativa no transmisible como el cáncer o enfermedades cardiovasculares. Consecuentemente se ha promovido el consumo de antioxidantes en la dieta para disminuir los radicales libres; en diversos estudios se ha demostrado la potente actividad antioxidante de las betalainas (Azeredo, 2009), además de poseer diversas actividades biológicas deseables como antiinflamatorios, hepatoprotectores y propiedades antitumorales (Georgiev *et al*, 2010; Vulić *et al.*, 2012).

5.1 Propiedades antioxidantes

Las betalainas pueden modular el desequilibrio intrínseco entre especies oxidantes y el sistema antioxidante de defensa de un organismo y de esta manera crear un entorno celular favorable para contrarrestar el estrés oxidante (Esatbeyoglu *et al.*, 2014). Las betalainas provenientes de la pulpa de betabel podrían captar hasta el 75% de radicales superóxido (O_2^{\bullet}) (Čanadanović-Brunet *et al.*, 2011).

Vaillant *et al.*, (2005) observó que la capacidad antioxidante de la pitaya roja es tan alta como la del betabel. Wu *et al.* (2006) informó que la cáscara de pitaya roja, contiene niveles más altos de betacianina que la pulpa, presentando una actividad antioxidante más alta y una inhibición más fuerte de la proliferación de células de melanoma *in vitro*.

En el año 2011, García-Cruz y colaboradores realizaron un estudio en el que se utilizaron dos variedades de pitaya, la roja y naranja para determinar el contenido de betalainas (betacianinas + betaxantinas), de fenoles solubles totales y ácidos fenólicos y evaluar el poder antioxidante (García-Cruz *et al.*, 2011).

El poder antioxidante de un extracto o fruto se puede expresar en función del porcentaje de DPPH reducido (Villanueva-Tiburcio *et al*, 2010), sin embargo si no se considera la concentración de

antioxidantes en el extracto o fruto se recomienda estimar la capacidad antioxidante con el IC₅₀ que representa la concentración del extracto con la cual se obtiene 50% de reducción del DPPH presente en la reacción, es decir, mientras menor sea el valor de IC₅₀ mayor será la capacidad antioxidante (García-Cruz *et al.*, 2012).

En esta investigación se encontró que a medida que aumenta la concentración de betalainas en los extractos de pitaya, el porcentaje de DPPH reducido se incrementa, como se observa en la Figura 7.

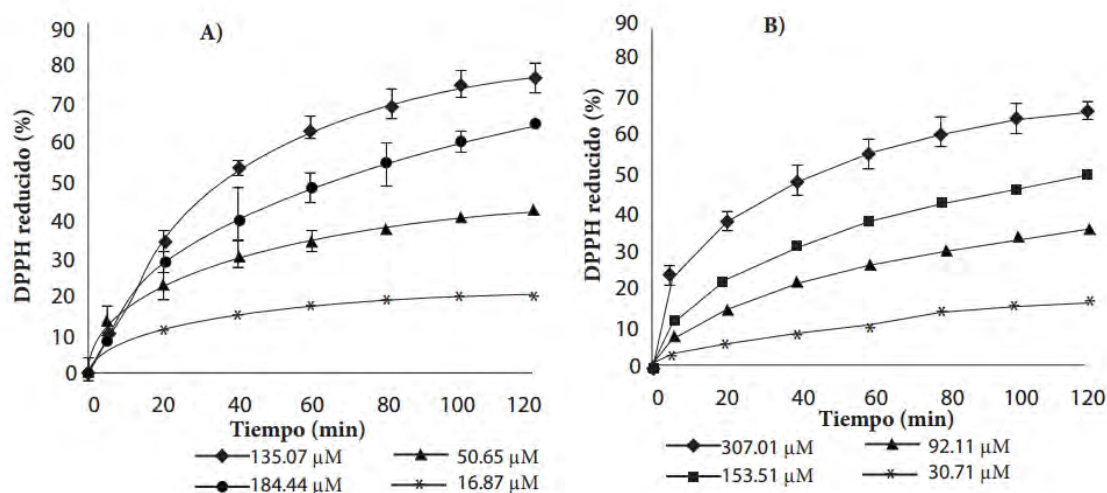


Figura 7. Porcentaje de DPPH reducido con cuatro concentraciones de los extractos metanólicos de betalainas de *Stenocereus griseus* H. (Figura A: pitaya roja; Figura B: pitaya naranja). Fuente: García-Cruz *et al.* (2012)

En pitaya roja una concentración de 135.07 μM reduce 76% del radical DPPH, en tanto que en la pitaya naranja se requiere una concentración de 307.01 μM para lograr una reducción de 67%. Esto podría ser debido a que la pitaya roja tiene un mayor contenido de betacianinas y se ha informado que las betacianinas son antioxidantes más potentes que las betaxantinas (Azeredo, 2009; García-Cruz *et al.*, 2012).

El IC₅₀ de la PN fue de 161.7 ± 4.8 μM, que es más del doble que el de la roja (59.8 ± 0.32 μM), lo que significa que el poder antioxidante de la pitaya roja es mayor que el de la naranja. Sin embargo, el poder antioxidante de *S. griseus* H. también puede atribuirse a los compuestos fenólicos

presentes en sus frutos, y aunque están en menor proporción que las betalainas se consideran potentes antioxidantes (García-Cruz *et al.*, 2012)

Tesoriere *et al.*, (2005) hallaron evidencia en glóbulos rojos humanos, observando que éstos se incorporan a las betalainas, las cuales pueden proteger dichas células y evitar la hemólisis oxidativa, ya que la indixantina y betanina a pesar de ser hidrófilas, se pueden unir a las lipoproteínas de baja densidad (LDL) en estudios *in vitro*, aumentando su resistencia a la oxidación.

Allegra *et al.* (2005) demostraron la efectividad de la betanina e indixantina para actuar como reductantes de los intermediarios de la enzima mieloperoxidasa, la cual cataliza la producción de Ácido hipocloroso (HOCl), el más potente antioxidante producido por neutrófilos humanos y el cual contribuye a los daños causados por células inflamatorias.

En un estudio de la capacidad antioxidante equivalente trolox (TEAC), se encontró que las betalainas provenientes del betabel tenían una actividad para la eliminación de radicales libres de 1.5 a 2.0 veces mayor que algunas antocianinas, tales como cianidina-3-O-glucósido y cianidina, por encima del pH 4 (Borkowski *et al.*, 2005). De igual manera mediante el método DPPH se encontró que las betalainas provenientes de la planta *Amaranthaceae* (gomfreninas) son antioxidantes más potentes que el ácido ascórbico, la rutina y la catequina (Cai *et al.*, 2003). La actividad de captación de radicales libres de la betanina medido en un ensayo TEAC a pH 7.4 y en un ensayo de difenilpicrilhidrazilo (DPPH) es de aproximadamente 7.5 y 3.0 veces más alto, respectivamente, que la de la vitamina C, que es un eficaz antioxidante natural (Cai, Sun, y Corke , 2003; Gliszczyńska-Świgło , 2006, Gengatharan *et al.*, 2015). En un estudio realizado en el 2011 por Čanadanović-Brunet *et al.*, se encontró que las betalainas provenientes de la pulpa del betabel captan el 75% de radicales de aniones peróxido.

Años después, Vulić y sus colaboradores realizaron un estudio *in vivo* e *in vitro* para evaluar las capacidades antioxidantes y hepatoprotectivas de la pulpa de betabel proveniente de productos procesados por la industria para la extracción de jugo, este estudio se realizó con extractos de las siguientes variedades de betabel (Cardeal-F1, Egyptian, Bicolor y Detroit) mediante la medición de las actividades de las enzimas (xantina oxidasa, catalasa, peroxidasa, glutatión peroxidasa- y glutatión reductasa) y los niveles de glutatión(GSH) y ácido tiobarbitúrico. Los fenoles y betalainas fueron identificados mediante la técnica de HPLC para poder medir el efecto antioxidante y

hepatoprotectivo. La actividad antirradical cuantificada mediante espectrofotometría se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de EC₅₀ de extracto de pulpa de betabel y controles

Extracto de pulpa de betabel	DPPH (µg/mL)	RP (µg/mL)
Detroit	2.06±0.10	123±06.05
Cardeal-F1	2.21±0.11	251.37±12.45
Egyptian	3.43±0.16	525.50±26.17
Bicor	3.94±0.17	134.54±06.66
Krestel	7.63±0.36	674.54±33.68
BHA	28.21 ± 1.39	28.82±1.42

Fuente: Vulić *et al.* (2014)

En este estudio se comprobó que la pulpa del betabel podría ser usada como un ingrediente funcional en alimentos, siendo el extracto proveniente de Detroit el que mostró la mejor actividad contra radicales DPPH y mejor efecto antioxidante y hepatoprotector (Vulić *et al.*, 2014).

Las betalaínas que provienen de las frutas de cactus y el betabel tienen una actividad antioxidante fuerte para inhibir la peroxidación lipídica y la hemodescomposición en concentraciones muy bajas, además de contrarrestar las lipoperoxidasas que pueden dañar las células gastrointestinales durante la digestión de alimentos. Kanner *et al.*, 2001 demostraron la capacidad de la betanina y la betanidina para inhibir la peroxidación del ácido linoleico y la oxidación de LDL a menor concentración que otros antioxidantes conocidos, tales como α -tocoferol o catequina (Cai *et al.*, 2003; Kanner *et al.*, 2001). Netzel *et al.*, (2005), aseguraron que la ingesta diaria de una dosis de jugo de betabel rojo al día podía incrementar la cantidad de antioxidantes en el sistema digestivo, ya que las betalaínas pueden modular el desequilibrio entre las especies oxidantes y el sistema de defensa antioxidante de un organismo creando una homeostasis celular (Esatbeyoglu *et al.*, 2014).

En un estudio realizado por Wroblewska Juszkiewicz & Wiczowski, (2011) se encontró que la administración oral de betalainas de betabel (5, 20 y 80 mg/kg de peso corporal) en ratones irradiados, mejoraba significativamente la actividad de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa en el hígado, bazo y riñón, dependiendo de la forma de administración.

5.2 Propiedades anticancerígenas

Las betalainas participan activamente en la captación de radicales libres y por consiguiente pueden prevenir el daño celular y las enfermedades cardiovasculares. Kapadia *et al.* (2003) demostraron la eficacia de betanina en ratones para la supresión local a largo plazo de tumores de la piel y el hígado que son inducidos por diferentes químicos carcinógenos.

Zou *et al.* (2005) informaron que las betalainas presentes en la tuna (*Opuntia ficus*) tenían actividad anti-proliferativa de las células cancerosas, inhibiendo el crecimiento de las células en el cuello de útero, ovario y vejiga en un estudio *in vivo* que se realizó en ratones. Estos extractos inhibieron el crecimiento de células cancerosas del epitelio cervical en un 40 a 60%. Aunque el mecanismo de las betalainas en la prevención del cáncer aun no es claro, varios estudios han mostrado que las betalainas alteran la expresión de ciertos genes relacionados con el crecimiento celular y la apoptosis (Gengatharan *et al.*, 2015).

Lee *et al.* (2005) reportaron que las betalainas además de ser las responsables de darle color a los frutos que las contienen y tener actividad antioxidante, tienen la habilidad para inducir a la quinona reductasa, la cual es una potente enzima de biotransformación asociada con la quimioprevención del cáncer.

En recientes estudios se encontró que las betalainas tenían la capacidad de traslocar el factor de transcripción (Nrf2), el cual es encargado de regular la expresión inducible de numerosos genes de enzimas de biotransformación y antioxidantes, mediante su unión a una secuencia específica del ADN conocida como ARE (de sus siglas en inglés: "Antioxidant Response Element"). La suplementación de las células Huh7 con 15 μ M de betalainas provenientes del betabel, provocó un

incremento significativo de GSH, el cual induce la detención del ciclo celular y apoptosis, lo que sugirió el potencial quimiopreventivo de las betalaínas (Esatbeyoglu *et al.*, 2014).

La *Rivina humilis* L. (Phytolaccaceae), comúnmente conocida como coralillo, es una planta herbácea silvestre que fue investigada por Khan *et al.*, en el 2012 por ser un pigmento con actividad antioxidante potencial y por su actividad citotóxica de células cancerígenas. Se encontró que estas plantas cuentan con un contenido total de betalaínas de 0.35 g/100 g de muestra húmeda y 1.7 g/100 g de muestra seca y que tienen altos niveles de betaxantinas. En un estudio *in vitro* de una Prueba de Poliferación de las células (MTT) con células de HepG2 expuestas a 48 horas con extractos ricos en betalaínas, se afirmó que las betacianinas y betaxantinas muestran una elevada citotoxicidad de células cancerígenas.

Kumar *et al.*, (2015) realizaron un estudio para determinar la actividad antioxidante y anticancerígena de los extractos de *Basella rubra* L. (Basellaceae) comúnmente conocida como espinaca de Malabar o espinaca India, la cual es rica compuestos bioactivos como flavonoides, betalaínas y compuestos fenólicos. Esta planta ha sido estudiada en la antigua China e India por sus propiedades diuréticas y antiinflamatorias, y se ha identificado que estos frutos contienen un total de betalaínas de 0.34 g/100 g de peso húmedo y 1.9 g/ 100 g de peso seco. Los extractos de esta fruta a 50 mg/mL mostraron una fuerte actividad citotóxica (81%) contra células del carcinoma cervical humano, por lo que dichos frutos tienen potencial para ser empleados como suplementos o nutraceúticos.

5.3 Efectos hipolipemiantes

El uso de los extractos de plantas tales como las betalaínas para tratar o regular las condiciones de lipodemia (alta concentración de lípidos en la sangre) ha aumentado debido que son libres de efectos secundarios y toxicidad con la que cuentan, comparado con los medicamentos sintéticos. Allegra *et al.*, (2007) encontraron que las betalaínas inhibían la oxidación inducida por nitrato/mieloperoxidasa de LDL por la captación de radicales lipoperóxidos (Gengatharan *et al.*, 2015).

En un experimento por Clemente & Desai, (2011) llevado a cabo con ratas diabéticas (200 g/kg y 400 g/kg) se reportó que la administración de extractos de betalaínas de *A. tricolor* redujeron los niveles de colesterol, triacilglicérolos, LDL y de lipoproteínas de alta densidad (HDL).

La alimentación de ratas con betabel en un alimento tipo chips disminuyó significativamente el nivel de glucosa en suero, el índice aterogénico, la concentración de ácido isovalérico en el intestino ciego y el peso corporal, además eliminó la producción de ácidos grasos de cadena corta y previno el surgimiento de colesterol total en modelo de ratas dislipidémicas (Wroblewska *et al.*, 2011). De igual manera, la alimentación de ratas hipercolesterolémicas con 300 mg/kg de extracto de pitaya roja que contenían betalaínas reduce el nivel de colesterol en un 43.45%, probablemente por el aumento de la excreción de ácidos biliares (Sanie *et al.*, 2009).

En experimentos *in vivo* con individuos obesos mostraron que la ingestión de betalaínas provenientes del jugo de betabel y chips inhibieron el metabolismo oxidante neutrófilo (Zielinbska-Przyjemska *et al.*, 2009) sugiriendo que las betalaínas pueden tener un potencial de aplicación en el manejo de la hiperlipidemia (altos niveles de lípidos en sangre) (Gengatharan *et al.*, 2015).

5.4 Actividad antimicrobiana

Hilou *et al.*, (2006) encontraron que las betalaínas tienen efectos antipalúdicos y antimicrobianos por lo cual *Amaranthus spinosus* mostró actividad significativa antimalárica en ratones debido a los altos niveles de betanina y amarantina que son capaces de quelar cationes como Ca^{2+} , Fe^{2+} y Mg^{2+} y bloquear el transporte de la colina intracelular de parásitos.

La pulpa de betabel inhibe a las bacterias Gram negativas como: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Citrobacter freundii*, *Citrobacter youngae*, *E. cloacae*, *Salmonella typhimurium*) (Čanadanović-Brunet *et al.*, 2011). Betalaínas provenientes de extractos de pitaya ejercen un amplio espectro antimicrobiano para inhibir a las bacterias Gram positivas como: *B. cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia faecalis*, *Listeria monocytogenes* a una concentración de 7.8 $\mu\text{g/mL}$, inhibe bacterias Gram negativas como: *E coli*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *P. aeruginosa*, *Salmonella Typhi Ty2*, *Yersinia enterocolitica*, *Klebsiella pneumonia*, *Enterobacter cloacae* y *E.*

aerogenes) a una concentración de 15.6 a 62.5 µg/mL, puede inhibir levaduras como: (*Candida albicans*, *Rhizoctonia solani*) a 125 a 250 µg/mL and mohos como: (*Fusarium oxysporum*, *Cladosporium herbarum*, *Botrytis cinerea*, *Aspergillus flavus*) a una concentración de 500 µg/mL (Tenore *et al.*, 2012).

Dicha actividad antimicrobiana de las betalainas puede deberse a los efectos adversos de la estructura, función y permeabilidad de la membrana celular en los microorganismos, lo que conlleva eventualmente a la muerte celular (Čanadanović-Brunet *et al.*, 2011).

6. DISCUSIÓN

De acuerdo a las definiciones presentadas un alimento funcional se definiría como “aquel alimento de origen natural que se consume en la dieta habitual y que contiene un compuesto bioactivo que ayuda a mejorar o regular un proceso biológico en particular con la finalidad de prevenir o controlar alguna enfermedad específica”, sin embargo a pesar del incremento de la demanda por el consumo de éstos alimentos y de la gran cantidad de información científica que se tiene sobre los beneficios que aportan. Aún no existe la definición de alimento funcional en la normatividad mexicana, por lo que existe la necesidad de elaborar una definición oficial en México para los alimentos funcionales, así como los respectivos lineamientos para definir las condiciones que deberán cumplir para considerarse como funcionales, definir los intervalos permitidos de IDR y LSC de cada uno de los ingredientes y definir todas las declaraciones permitidas en el etiquetado y la publicidad de éstos.

Los compuestos nutraceúticos se diferencian de los alimentos funcionales debido a que contienen a los compuestos bioactivos en forma concentrada en una matriz no alimenticia (como cápsulas, píldoras, soluciones, geles, líquidos, polvos, entre otros) y se utilizan con el propósito de mejorar la salud en dosis que exceden la cantidad que podría obtenerse a partir del consumo normal del alimento, mientras que en un alimento funcional, el compuesto bioactivo se encuentra en menores proporciones y se consume como alimento en la dieta habitual.

Dentro de los compuestos bioactivos se encuentran las betalaínas, las cuales son pigmentos nitrogenados que contienen como cromóforo el ácido betalámico y están divididos en dos principales grupos estructurales: betacianinas y betaxantinas; las betacianinas le dan el color rojo a los alimentos y las betaxantinas el color amarillo/anaranjado. Estos compuestos se encuentran comúnmente en betabel, hoja o grano de amaranto, tuna y pitaya roja.

Debido a la preferencia que tiene la población hacia los colorantes de origen natural, las betalaínas podrían ser una alternativa para sustituir los colorantes sintéticos como: azorrubina, amaranto, rojo punzo (también conocido como Ponceau 4R), eritrosina, rojo 2G y rojo allura en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, debido a que son pigmentos con un amplio espectro de color, solubles en agua y a diferencia de las antocianinas se pueden emplear en alimentos ácidos, lo que facilita su uso. No obstante, es un aditivo aprobado por la FDA y no requiere de certificación previa,

además se encuentra en la lista de colorantes de Buenas Prácticas de Fabricación del Acuerdo Nacional de Aditivos de México y no existe una limitación del uso del colorante proveniente del polvo de betabel en la Regulación Mexicana.

Sin embargo, en colorantes obtenidos a partir del betabel se ha encontrado presencia de geosmina que le da un sabor particular cuando se usa en la industria alimentaria, lo que limita su uso en ciertos productos (Castellar *et al.*, 2006), por lo que una alternativa podría ser la extracción de colorantes a partir de frutas de cactus, ya que son frutas con pocos requerimientos de sol y de agua y pueden abarcar un espectro de color desde rojo-violeta (en el caso de *Hylocereus* sp.) hasta amarillo-anaranjado en el caso de la *Opuntia* sp. Además de ser frutos que se cultivan en México, por lo que destacar estas propiedades podría elevar el nivel de competitividad de estas frutas a nivel nacional e internacional, o bien, buscar un método para eliminar los residuos de geosmina. Otra alternativa sería el uso de antioxidantes obtenidos a parte de las betalainas provenientes de la cáscara y la pulpa del betabel, dándole un mejor uso a los residuos generados del proceso de frutas y vegetales, obteniendo productos de alto valor a partir de ellos.

Muchos estudios han demostrado que las betalainas poseen una importante actividad antioxidante, ya que las betalainas provenientes del betabel pueden tener una actividad para la eliminación de radicales libres de 1.5 a 2.0 veces mayor que algunas antocianinas (Borkowski *et al.*, 2005) y las betalainas provenientes de la planta *Amaranthaceae* (gomfreninas) pueden ser antioxidantes más potentes que el ácido ascórbico, la rutina y la catequina (Cai *et al.*, 2003). De igual manera, en diversos estudios se ha demostrado la capacidad antiinflamatoria, antimicrobiana, hepatoprotectora y los efectos hipolipemiantes que tienen las betalainas, además de ayudar a prevenir enfermedades degenerativas como el cáncer, sin embargo, es necesario realizar más estudios clínicos para sustentar los efectos biológicos producidos y de esta manera promover el consumo de alimentos que contengan estos compuestos bioactivos para usarlo como aditivos en la industria, dándole confianza a los consumidores ya que proviene de fuentes naturales.

7. CONCLUSIONES

- Con base en el incremento de la demanda de los alimentos funcionales en el mercado, existe la necesidad de incluir en la Normatividad Mexicana una definición oficial para éstos alimentos, e indicar los requisitos que deberán cumplir para entrar en dicha categoría, definir intervalos permitidos de cada uno de los compuestos bioactivos y especificar las declaraciones que serán permitidas en la publicidad y etiquetado de los alimentos.
- Las betalaínas podrían ser una buena alternativa para su uso como colorante en alimentos como gelatinas, confituras, yogur de fresa, helados de cremas, entre otros, debido a que provienen de fuentes naturales y son aditivos aprobados por la FDA y la Legislación Mexicana, siendo considerados como aditivos seguros.
- Se ha comprobado en diferentes estudios que las betalaínas son una excelente fuente de antioxidantes, pudiendo tener una actividad para la eliminación de radicales libres mayor que algunas antocianinas y pudiendo ser antioxidantes más potentes que el ácido ascórbico, la rutina y la catequina.
- Diversos estudios han demostrado que las betalaínas provenientes del betabel, tuna roja, pitaya y grano de amaranto son compuestos bioactivos que tienen efectos biológicos benéficos para la salud, reduciendo el riesgo de padecer enfermedades crónicas degenerativas como el cáncer y enfermedades cardiovasculares.

8. BIBLIOGRAFÍA

Alba- Jiménez Jimena Esther, Chávez- Servia José Luis, Verdalet- Guzmán Iñigo, Martínez Armando de Jesus, Aquino- Bolaños Elia Nora. (2014). Betalaínas, polifenoles y actividad antioxidante en tuna roja mínimamente procesada, almacenada en atmósferas controladas. *Gayana Botánica* 71(2), 222-226.

Allegra, M., Furtmüller, P.G., Jantschko, W. et al. (2005). Mechanism of interaction of betanin and indicaxanthin with human myeloperoxidase and hypochlorous acid. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 332, 837–844.

Allegra, M., Tesoriere, L., & Livrea, M. A. (2007). Betalain inhibits the myeloperoxidase/nitrite-induced oxidation of human low-density lipoproteins. *Free Radical Research* 41, 335-341.

Amitava Das and Chandan K. Sen. (2014). Nutritional Supplements and Functional Foods: Functional Significance and Global Regulation. *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and around the world*. Osmo Hänninen, Chandan K. Sen. Capítulo 2, páginas 11-35.

Attoe, E. L., & von Elbe, J. H. (1985). Oxygen involvement in betaine degradation: Effect of antioxidants. *Journal of Food Science* 50, 106–110.

Azeredo Henriette M.C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *International Journal of Food Science and Technology* 44, 2365–2376.

Badui Dergal Salvador. (2006) *Química de los alimentos*. México. Editorial Pearson. Pág. 400- 404 y 429-432.

Bernal J., Mendiola J.A., Ibáñez E., Cifuentes A. (2011) Advanced analysis of nutraceuticals. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 55:758-774.

Biesalski HK, Dragsted LO, Elmadfa I, Grossklaus R, Müller M, Schrenk D, Walter P, Weber P. (2009). Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. *Nutrition* 25: 1202–1205.

Bonilla Jeannine, Vargas Carolina Flávia, Gomes de Oliveira Tiara, Lourenço da Aparecida Makishi Gisele, José do Amaral Sobral Paulo. (2015). Recent patents on the application of bioactive compounds in food: a short review. *Food Science* 5:1–7.

Borkowski, T., Szymusiak, H., Gliszczyńska-Świgło, A., Rietjens, I. M. C. M. y Tyrakowska, B. (2005). Radical-scavenging capacity of wine anthocyanins is strongly pH-dependent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 5526-5534.

Bourges Rodriguez H. (2001). Orientación Alimentaria: glosario de términos. *Cuadernos de Nutrición* 24, 9, 26.

Cai, Y., Sun, M., & Corke, H. (2003). Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 51, 2288- 2294.

Čanadanović-Brunet, J. M., Savatović, S. S., Četković, G. S., Vulić, J. J., Djilas, S. M., Markov, S. L., et al. (2011). Antioxidant and antimicrobial activities of beet root pomace extracts. *Czech Journal of Food Science* 29, 575-585.

Casanueva Esther, Kaufer-Horwitz Martha, Pérez-Lizaur Ana Bertha, Arroyo Pedro. 2001. *Nutriología médica*. Editorial Médica Panamericana. Segunda edición. Páginas:

Castellar, M.R., Obón, J.M., Alacid, M. & Fernández-López, J.A. (2003). Color properties and stability of betacyanins from Opuntia fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 2772–2776.

Castellar, M.R., Obón, J.M. & Fernández-López, J.A. (2006). The isolation and properties of a concentrated red-purple betacyanin food colourant from Opuntia stricta fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86, 122–128.

Clemente, A. C., & Desai, P. V. (2011). Evaluation of the haematological, hypoglycemic, hypolipidemic and antioxidant properties of *Amaranthus tricolor* leaf extract in rat. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* 10, 595-602.

Corrales, G. J., Flores V. C. (2003). Nopalitos y tunas: producción, comercialización, poscosecha e industrialización. pp: 39–96. Universidad Autónoma de Chapingo, CIESTAAM Programa nopal.

Cruz Ventura Joana Jessica. (2011). *Aplicación de los ingredientes funcionales y su impacto en la industria alimentaria.* (Trabajo monográfico de actualización). Facultad de Química de la UNAM.

Czapski, J. (1990). Heat stability of betacyanins in red beet juice and in betanin solutions. *European Food Research and Technology*, 191, 275–278.

Czyzowska, A., Klewicka, E. & Libudzisz, Z. (2006). The influence of lactic acid fermentation process of red beet juice on the stability of biologically active colorants. *European Food Research and Technology*, 223, 110–116.

Delgado-Vargas, F., Jiménez, A.R. & Paredes-López, O. (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains - characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 173-289.

Drunkler, D. A., Fett, R., & Bordignon Luiz, M. T. (2006). The evaluation of stability of betalains in beetroot (*Beta vulgaris* L.) extract add to of a-, b- and c-cyclodextrins. *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos*, 24, 259–276.

Esatbeyoglu, T., Wagner, A. E., Motafakkerzad, R., Nakajima, Y., Matsugo, S., & Rimbach, R. (2014). Free radical scavenging and antioxidant activity of betanin: electron spin resonance spectroscopy studies and studies in cultured cells. *Food Chemistry and Toxicology*, 73, 119-126.

Esquivel Patricia. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2), 215-219.

Fennema Owen R. 2000. *Química de los alimentos*. Editorial Acribia. Pág. 826-850.

Fernández-Agulló A, Freire MS, González-Álvarez J. (2015) Effect of the extraction technique on the recovery of bioactive compounds from eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) wood industrial wastes. *Industrial Crops and Products* 64:105-113.

García-Cruz Leticia, Salinas-Moreno Yolanda, Valle-Guadarrama Salvador. (2012) Betalainas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en Pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.) *Revista Fitotecnía Mexicana* 35, 1 – 5.

Gengatharan Ashwini, Dykes Gary A., Choo Wee Sim. (2015) Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *Food Science and Technology*, 64, 645-649.

Georgiev, V. G., Weber, J., Kneschke, E., Denev, P. N., Bley, T., & Pavlov, A. I. (2010). Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red. *Plant Foods Human Nutrition*, 65(2), 105–111.

Gliszczyńska-Świgło, A. (2006). Antioxidant activity of water soluble vitamins in the TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) and the FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays. *Food Chemistry*, 96, 131-136.

Gregorio Méndez Judith. (2010). *Producción Orgánica de Betabel (B. vulgaris L.): evaluación de variedades y efecto de dos compostas*. (Tesis de Licenciatura). Departamento de botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Hardy G. 2000. Nutraceuticals and Functional Foods: Introduction and Meaning. *Nutrition* 16: 688-698.

Herbach, K.M., Stintzing, F.C. & Carle, R. (2004a). Impact of thermal treatment on colour and pigment pattern of red beet (*Beta vulgaris* L.) preparations. *Journal of Food Science* 69, C491–C498.

Herbach, K.M., Stintzing, F.C. & Carle, R. (2004b). Thermal degradation of betacyanins in juices from purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton and Rose) monitored by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometric analyses. *European Food Research and Technology* 219, 377–385.

Herbach, K.M., Stintzing, F.C. & Carle, R. (2005). Identification of heat-induced degradation products from purified betanin, phyllocactin and hylocerenin by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 19, 2603–2616.

Herbach, K.M., Rohe, M., Stintzing, F.C. & Carle, R. (2006). Structural and chromatic stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton & Rose) betacyanins as affected by the juice matrix and selected additives. *Food Reserach International* 39, 667–677.

Hilou, A., Nacoulma, O. G., & Guiguemde, T. R. (2006). In vivo antimalarial activities of extracts from *Amaranthus spinosus* L. and *Boerhavia erecta* L. in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 103, 236–240.

Howlett John. 2008. Functional Foods. From Science to health and claims.

http://www.ilsa.org/Europe/Publications/C2008Func_FoodEng.pdf

Huang, A.S. & von Elbe, J.H. (1985). Kinetics of the degradation and regeneration of betanin. *Journal of Food Science*, 50, 1115–1120.

Huang, A.S. & von Elbe, J.H. (1987). Effect of pH on the degradation and regeneration of betanin. *Journal of Food Science*, 52, 1689– 1693.

Jain Gagandeep y Gould Kevin S. (2015) Are betalain pigments the functional homologues of anthocyanins in plants? *Environmental and Experimental Botany*, 119, 48-53.

Khan Imtiyaj Mohammad, Harsha Sri P.S.C., Giridhar P., Ravishankar G.A. (2012) Pigment identification, nutritional composition, bioactivity, and *in vitro* cancer cell cytotoxicity of *Rivina Humilis* L. berries, potential source of betalains. *Food Science and Technology*, 47, 315-323.

Khan Imtiyaj Mohammad, Giridhar P. (2015) Plant betalains: Chemistry and biochemistry. *Phytochemistry* 117, 267–295.

Kanner, K., Harel, S., & Granit, R. (2001). Betalains a new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 5178-5185.

Kapadia, G.J., Azuine, M.A., Sridhar, R. et al. (2003). Chemoprevention of DMBA-induced UV-B promoted, NOR-1-induced TPA promoted skin carcinogenesis, and DEN-induced phenobarbital promoted liver tumors in mice by extract of beetroot. *Pharmacological Research*, 47, 141–148.

Kaur Sumeet and Das Madhusweta. 2011. Functional Foods: An Overview. *Food Science and Biotechnology*, 20(4): 861-875.

Kris-Etherton Penny M., PhD, RD,. Hecker Kari D, MS, RD, Bonanome Andrea, MD, Coval Stacie M., MS, Binkoski Amy E., BS, RD, Hilpert Kirsten F., BS, Griel Amy E., MEd,Terry D. Etherton, PhD. (2002) Bioactive Compounds in Foods: Their Role in the Prevention of Cardiovascular Disease and Cancer. *The American Journal of Medicine*, Volume 113: 71-88

Kuhnen S, Lemos PMM, Campestrini LH, Ogliari JB, Dias PF, Maraschin M. (2009). Antiangiogenic properties of carotenoids: A potential role of maize as functional food. *Journal of Functional Foods*, 1: 284-290.

Kumar Sravan Sandopu, Manoj Prabhakaran, Giridhar Parvatam, Shrivastava Richa, Bharadwaj Mausumi. (2015) Fruit extracts of *Basella rubra* that are rich in bioactives and betalains exhibit antioxidant activity and cytotoxicity against human cervical carcinoma cells. *Journal of Functional Foods*, 15, 509-515.

Kwak No-Seong, Jukes David John. 2001. Functional Foods. Part 1: the development of a regulatory concept. *Food Control*, 12:99-107

Lee, C.H., Wettasinghe, M., Bolling, B.W., Ji, L.L. & Parkin, K.L. (2005). *Betalains, phase-II enzyme-inducing components from red beetroot (Beta vulgaris L.) extracts.* *Nutrition and Cancer*, 53, 91–103.

Ley General de Salud. (20 de julio de 2016).

http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/legis/lgs/LEY_GENERAL_DE_SALUD.pdf

Ley General de Salud en Materia de Publicidad. (20 de julio de 2016).

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/rlgsm.html>

Moßhammer, M.R., Stintzing, F.C. & Carle, R. (2005). Colour studies on fruit juice blends from *Opuntia* and *Hylocereus cacti* and betalain-containing model solutions derived therefrom. *Food Research International*, 38, 975–981.

Netzel, M., Stintzing, F. C., Quaas, D., Strab, G., Carle, R., Bitsch, R., et al. (2005). Renal excretion of antioxidative constituents from red beet in humans. *Food Research International*, 38, 1051-1058.

Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994, Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.

Norasiha, H., Mimi Sakinah, A. H., & Rohaida, C. M. (2009). Characterization of b-cyclodextrin complexes with natural dye. In M. M. Noor, M. M. Rahman, & K. Kadirgama (Eds.), Presented at the National Conference on Postgraduate Research (NCON-PGR) (pp. 98–106), UMP Conference Hall, Malaysia.

Ortiz Hernández L, Ramos Ibáñez N, Pérez Salgado D, Ramírez Aguilar M. (2013). *Fundamentos de nutrición para la consulta nutricional*. Primera Edición. Editorial Trillas, México, D.F. pp 75-76.

Prasad M. Palthur, S. S. Sajala Palthur , Suresh Kumar Chitta. (2010) Nutraceuticals: a conceptual definition. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 2:3, 19-27.

Sani, H. A., Baharom, A., Ahmad, M. A., & Ismail, I. I. (2009). Effectiveness of *Hylocereus polyrhizus* extract in decreasing serum lipids and liver MDA-TBAR level in hypercholesterolemic rats. *Sains Malaysiana*, 38, 271-279.

Shimizu Toshio. (2003). Health claims on functional foods: the Japanese regulations and an international comparison. *Nutrition Research Reviews*, 16, 241–252

Stafford, H.A. (1994). Anthocyanins and betalains: evolution of the mutually exclusive pathways. *Plant Science*, 101, 91–98.

Steglich W., Strack D. (1990) Betalains. *The alkaloids, Chemistry and Pharmacology*. 39, 1-62.

Stintzing, Florian C.; Schieber, Andreas and Carle, Reinhold. (2003). Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *European Food Research and Technology*, 216(4):303-311.

Stintzing F.C., Herbach K.M., Mosshammer M.R., Carle R., Yi W., Sellappan S., Akoh C.C., Bunch R., Felker P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 442–451.

Strack, D., Vogt, T. & Schliemann, W. (2003). Recent advances in betalain research. *Phytochemistry*, 62, 247–269.

Sumaya-Martínez Ma. Teresa, Suárez Diéguez Teodoro, Cruz Cansino Nelly del Socorro, Alanis García Ernesto, Sampedro José G. (2010). *Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana* 27, 435-441.

Tenore, G. C., Novellino, E., & Basile, A. (2012). Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. *Journal of Functional Foods*, 4, 129-136.

Tesoriere, L., Butera, L., Allegra, M., Fazzari, M. & Livrea, M.A. (2005). Distribution of betalain pigments in red blood cells after consumption of cactus pear fruits and increased resistance of the cells to ex vivo induced oxidative hemolysis in humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1266–1270.

United States Department of Agriculture (USDA). Agricultural Research Service. National Nutrient Database for Standard Reference Release 28 (07 de noviembre de 2015). Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/nutrients/index>.

Vulić Jelena, Čanadanović- Brunet Jasna, Četković Gordana, Tumbas Vesna, Djilas Sonja, Četojević- Simin Dragana, Čanadanović Vladimir. (2012) Antioxidant and cell growth activities of beet root pomace extracts. *Journal of Functional Foods*, 4, 670-678.

Vulić Jelena, Čanadanović- Brunet Jasna, Četković Gordana, Tumbas Vesna, Djilas Sonja, Četojević- Simin Dragana, Čanadanović Vladimir. (2014) *In vivo* and *in vitro* antioxidant effects of beetroot pomace extracts. *Journal of Functional Foods* 6, 168-175.

Vaillant, F., Perez, A., Davila, I., Dornier, M. & Reynes, M. (2005). Colourant and antioxidant properties of red-purple pitahaya (*Hylocereus* sp.) *Fruits* 60, 1–10.

Villanueva-Tiburcio J E, L A Condenzo-Hoyos, E R Asquieri. (2010) Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubi* (H. B. K.) McVaugh). *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 30:151-160.

Wroblewska, M., Juskiewicz, J., & Wiczowski,W. (2011). Physiological properties of beetroot crisps applied in standard and dyslipidaemic diets of rats. *Lipids in Health and Disease*, 10, 178-185.

Wybraniec, S. (2005). Formation of decarboxylated betacyanins in heated purified betacyanin fractions from red beet root (*Beta vulgaris L.*) monitored by LC-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3483–3487.

Wu, L., Hsu, H.W., Chen, Y.C., Chiu, C.C., Lin, Y.I. & Ho, J.A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*, 95, 319–327.

Zeisel S.H. 1999. *Regulation of “nutraceuticals” Science* 285: 1853–1855.

Zielinska-Przyjemska, M., Olejnik, A., Dobrowolska-Zachwieja, A., & Grajek, W. (2009). In vitro effects of beetroot juice and chips on oxidative metabolism and apoptosis neutrophils from obese individuals. *Phytotherapy Research* 23, 49-55.

Zou, D., Brewer, M., Garcia, F. et al. (2005). Cactus pear: a natural product in cancer chemoprevention. *Nutrition Journal* 4:25, 1-12.