



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

**Efecto de la ingesta de una bebida de
jamaica y de una botana funcional a base
de naranja y maíz azul en ratas Wistar
inducidas a diabetes tipo II**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

PRESENTA:

L.Q.A. Fabiola Maricela Avila de la Cruz

DIRECTORES DE TESIS:

Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa
Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez

Tulancingo de Bravo, Hidalgo; 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II", que desarrolla el estudiante Fabiola Maricela Avila de la Cruz,

Asistentes:

- Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa
Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez
Dr. Javier Castro Rosas
M. en C. Enaim Aida Vargas León

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la estudiante, Fabiola Maricela Avila de la Cruz, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que el estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 28 de septiembre de 2017.

Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa

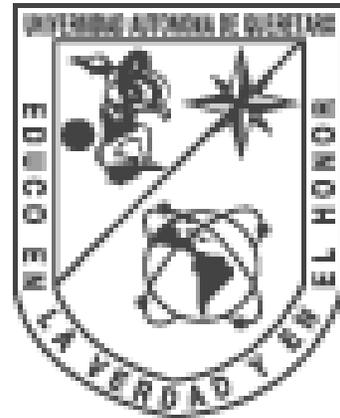
Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez

Dr. Javier Castro Rosas

M. en C. Enaim Aida Vargas León

Handwritten signatures of the committee members over horizontal lines.





El presente trabajo de investigación, se realizó en el Laboratorio de Fisicoquímica de Alimentos 1, del Área Académica de Química, en el Bioterio del Instituto de Ciencias de la Salud y en el Laboratorio de Histología del Área Académica de Zootecnia, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Así como en el Laboratorio de Posgrado de la Universidad Autónoma de Sinaloa y en los Laboratorios del Área Académica de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. Bajo la dirección del Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa y del Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez, y la asesoría del Dr. Javier Castro Rosas y la M. en C. Enaim Aída Vargas León.

*No juzgues cada día por la
cosecha que recoges, sino por
las semillas que plantas.*

Robert Louís Stevenson

Dedicatoria.

Dedico esta tesis a:

A Dios, que me ha dado la dicha y bendición de conocer este hermoso mundo, quien me dio a los padres más maravillosos del mundo, y que a través de ellos conocí la valentía, fortaleza y serenidad para afrontar cada obstáculo presente en mi vida para lograr mis metas.

A mi HIJA mi pequeña Abril Jazmín Navarro Avila, mi amor gracias por llegar en el mejor momento, por compensar mis peores días con tu amor, por ser el motivo a superarme, gracias por esas sonrisas llenas de inocencia, por esos abrazos, para no ver a mama cansada o triste, por esa madurez a tu corta edad, perdón por todo el tiempo de ausencia, de soledad, porque sé que el tiempo no se recupera jamás... este trabajo es para tí y por tí, mi corazoncito hermoso, TÈ AMO. Eres y siempre serás lo más hermoso y maravillo de mi vida, gracias por todo tu amor y por darme esa fortaleza que cuando mas la necesito, por siempre seras "MI PEQUEÑA PRINCESA".

A mi papá Enrique Avila Gutiérrez, que no solo es eso, si no mi amigo, mi confidente, mi pilar, mi fortaleza, mi ejemplo de amor a la vida, gracias papá, por todo tu apoyo incondicional, por ser ese padre para mi hija en mi ausencia, por esas palabras de serenidad cuando sentía que el mundo se venía encima, gracias por creer en mí y por ayudarme a crecer personal y profesionalmente, porque

sin tí nada hubiese sido posible, este logro es de los dos, gracias mí viejito.

A mí mamá Teresa de la Cruz (†), a tí mí ángel, que no estas físicamente, pero vives eternamente en mí corazón, gracias por todas las palabras de cariño y superación que siempre escuche de tí, porque esas palabras han sido mí soporte para continuar sin ver hacia atrás, gracias por todo cuanto me enseñaste por siempre te amare.

A mis hermanos: Erika, Arianna, Enrique, por su apoyo, por estar para mí pequeña en mí ausencia y amarla como una hija más.

A tí compañero de vida, que a pesar de las adversidades has estado en todo momento, gracias por tu apoyo, y cariño; por ser mí guía y llevarme de la mano en este proyecto, porque este logro es gracias a tí.

Con todo mí cariño y amor...

Fabiola

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para la realización de estudios de Maestría correspondiente al CVU 482351; de la cual deriva el presente trabajo de Tesis.

A los miembros del comité revisor de Tesis: Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa, Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez, Dr. Javier Castro Rosas, M. en C. Enaim Aida Vargas León, por su apoyo y por la confianza depositada para la presente investigación gracias, por permitirme ser parte de su grupo de trabajo

A la Dra. Rosalia Reinoso Camacho, por su apoyo en el proceso de elaboración de bebidas

Al Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez por el apoyo en la elaboración de la botana extrudida

Agradezco al Dr. Juan Ocampo López por el apoyo brindado en el análisis histopatológico, por la paciencia y los consejos brindados

Agradezco al personal del Bioterio de la Universidad por el apoyo y disposición para préstamo de material para realizar la presente investigación.

Se Agradece al Dr. Roberto Dorado de la Universidad Autónoma de Sinaloa por la disposición y orientación, así como por el uso del equipo de laboratorio

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRAC	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Obesidad y estrés oxidativo	4
2.1.1. Factores etiológicos	4
2.1.2. Epidemiología	6
2.1.3. Fisiopatología	6
2.1.4. Tratamientos para combatir la obesidad	7
2.1.5. Tejido adiposo	8
2.1.6. Lipogénesis.....	9
2.1.7. Estrés oxidativo	10
2.1.8. Complicaciones del estrés oxidativo	11
2.2. Diabetes.....	12
2.2.1. Factores etiológicos	13
2.2.2. Epidemiología	14
2.2.3. Fisiopatología	14
2.2.4. Tratamientos de la diabetes.....	14
2.3. Alimentos funcionales	15
2.3.1. Alimentos extrudidos con alto contenido en fibra	16
2.4. Bebidas funcionales.....	17
2.4.1. Bebidas y obesidad	18
2.5. Fenoles	19
2.6. Antocianinas	20
2.6.1. Propiedades funcionales de las antocianinas	21
2.6.2. Toxicidad de las antocianinas.....	22
2.7. Fibra dietética	22
2.7.1. Clasificación de la fibra por su solubilidad	23

2.7.2. Componentes de la fibra.....	23
2.7.3. Propiedades y efectos fisiológicos de la fibra dietética.....	25
2.8. Jamaica (<i>Hibiscus Sabdariffa L</i>)	26
2.8.1. Producción nacional de jamaica (<i>Hibiscus Sabdariffa L</i>).....	26
2.8.2. <i>Hibiscus Sabdariffa</i> variedad “Criolla”	27
2.8.3. Composición química	27
2.8.4. Contenido de ácidos fenólicos y capacidad antioxidante.....	27
2.9. Maíz (<i>Zea mays L</i>).....	29
2.9.1. Estructura del grano	30
2.9.2. Composición química del maíz azul	32
2.9.3.7. Propiedades antioxidantes del maíz azul	34
2.10. Naranja (<i>Citrus Sinensis L.</i>).....	34
2.10.1. Morfología del fruto de naranja	35
2.10.2. Producción de naranja a nivel nacional	36
2.10.3. Composición química de la naranja.....	37
2.10.4. Bagazo de naranja.....	38
3. JUSTIFICACIÓN.....	41
4. OBJETIVOS	42
4.1. Objetivo general.....	42
4.2. Objetivos particulares	42
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	43
6. HIPÓTESIS.....	43
7. MATERIALES Y MÉTODOS	44
7.1. Materiales	44
7.2. Obtención de las harinas	45
7.2.1 Harina de bagazo de naranja.....	45
7.2.2. Harina de maíz azul.....	45
7.2.3. Obtención de la botana extrudida.....	45

7.3. Caracterización fisicoquímica de las harinas y producto extrudido	46
7.3.1. Análisis químico proximal	46
7.4. Elaboración de la bebida de jamaica (<i>Hibiscuss sabdariffa</i>).....	46
7.4.1 Preparacion de la bebida de jamaica.....	46
7.5. Cuantificación de fenoles totales, antocianinas monomericas totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante por DPPH y ABTS, de las botanas, extrudida y comercial, de la bebida de jamaica (<i>Hibiscuss sabdariffa</i>) y de la bebida comercial	46
a) Bebida de jamaica y bebida comercial	46
b) Harina de maíz, harina de bagazo de naranja, mezcla de las harinas, botana extrudida, botana comercial	47
7.5.1. Cuantificación de fenoles totales	47
7.5.2. Determinación de antocianinas monoméricas totales.....	47
7.5.3. Determinación de flavonoides totales	48
7.5.4. Determinación de capacidad antioxidante por el método DPPH	49
7.5.5. Determinación de capacidad antioxidante por el método ABTS .	49
7.6. Evaluación <i>in vivo</i> del efecto del consumo de la bebida y del extrudido	50
7.6.1 Comité de ética.....	50
7.6.2. Grupos experimentales.....	50
7.6.3. Determinación de glucosa	51
7.6.4. Obtención del suero sanguíneo	52
7.6.4. Determinación de metabolitos séricos en el suero sanguíneo....	52
7.6.4. Análisis histopatológicos en órganos blanco	52
8. RESULTADOS Y DISCUSIONES	54
8.1. Obtención de las harinas	54
8.2. Obtención de botana extrudida y adquisición de botana comercial ...	54
8.2.1. Caracterización fisicoquímica de las harinas de maíz azul, del bagazo de naranja, de la botana extrudida y de la comercial.....	56
8.2.1.1. Análisis químico proximal	56
8.2.1.2. Perfil fitoquímico (Fenoles totales, flavonoides, antocianinas totales, capacidad antioxidante).....	58

8.3. Obtención de bebida de cálices jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i>) y adquisición de bebida comercial	62
8.3.1. Caracterización fisicoquímica	63
8.3.1.1. Perfil fitoquímico (fenoles totales, flavonoides, antocianinas totales, capacidad antioxidante)	63
8.4. Evaluación <i>in vivo</i> de la bebida y del extrudido.....	64
8.4.1 Efecto de los diferentes tratamientos sobre la ganancia de peso	64
8.4.2. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la concentración de glucosa	68
8.4.3. Efecto del consumo de bebidas y botanas experimentales, sobre los niveles de colesterol, colesterol HDL y colesterol LDL en ratas inducidas a diabetes	73
8.4.4. Efecto de los diferentes tratamientos sobre los niveles de triglicéridos	76
8.4.5. Análisis de posible daño hepático	77
8.4.6. Análisis de posible daño pancreático.....	81
8.4.7. Efecto de las diferentes dietas en daño renal.....	85
9. CONCLUSIONES	87
10. SUGERENCIAS.....	88
11. REFERENCIAS	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del riesgo de desarrollar obesidad respecto al peso.....	5
Tabla 2. Diagnóstico de la diabetes mellitus de tipo 2.....	13
Tabla 3. Polisacáridos no amiláceos.....	24
Tabla 4. Composición química de cálices de jamaica roja.....	28
Tabla 5. Composición química del maíz azul de las variedades tabloncillo y chalqueño.....	33
Tabla 6. Producción nacional anual en toneladas de naranja México.....	37
Tabla 7 contenido de nutrientes y energía del fruto de naranja (100g de producto)	38
Tabla 8. Composición fisicoquímica de harina y pectina de naranja	39
Tabla 9. Grupos experimentales.....	51
Tabla 10. Análisis químico proximal de harina de bagazo de naranja, maíz azul y de la mezcla de harina de bagazo de naranja y maíz azul (g/100g muestra b.s.).....	57
Tabla 11. Análisis químico proximal de botana extrudida y botana comercial a base de maíz (g/100g muestra b.s.).....	58
Tabla 12. Determinación de flavonoides, fenoles totales, capacidad antioxidante por DPPH y ABTS y antocianinas en harina de bagazo de naranja, harina de maíz azul, la mezcla de harina de bagazo de naranja y maíz azul, botana extrudida de maíz azul y bagazo de naranja y botana comercial de maíz (g/100g muestra b.s.).....	60
Tabla 13. Flavonoides, fenoles totales, capacidad antioxidante por DPPH y ABTS y antocianinas del extracto natural y de la bebida comercial (100 mL muestra).....	64
Tabla 14. Efecto de los diferentes tratamientos sobre el incremento de peso de las ratas alimentadas con las diferentes dietas experimentales.....	66
Tabla 15. Determinación de glucosa en plasma de los animales alimentados con las diferentes dietas experimentales.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo calórico diario proveniente de bebidas en adolescentes y adultos, por grupo de edad en 2006 en México.....	18
Figura 2. Estructura y sustituyentes de las antocianinas.....	21
Figura 3. Clasificación de la fibra dietaria.....	24
Figura 4. Estructura del grano de maíz.....	31
Figura 5. Representación esquemática de un corte del fruto de un cítrico..	36
Figura 6. Diagrama de flujo del desarrollo experimental.....	44
Figura 7. Harina de bagazo de naranja y harina de maíz azul.....	55
Figura 8. Botana extruida, botana comercial.....	55
Figura 9. Flor de jamaica variedad “criolla”	62
Figura 10. Bebida de extracto natural y bebida comercial	63
Figura11 Determinación de glucosa en sangre en los animales alimentados con las diferentes dietas experimentales, durante cuatro semanas (mg/dL).....	72
Figura12. Determinación de glucosa en suero plasmático en los animales alimentados con las dietas experimentales al final del experimento (mg/dL)	74
Figura 13. Determinación de colesterol en suero plasmático de los diferentes grupos experimentales (mg/dL).....	74
Figura 14. Determinación de triglicéridos en suero plasmático de los diferentes grupos experimentales (mg/dL).....	77
Figura 15. Hígado. H-E. 00x.....	80
Figura 16. Páncreas. H-E. 400x.....	83
Figura 17. Islotes pancreáticos. H-E.100x	84
Figura 18. Riñón. H-E. 400x.....	87

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del consumo de una bebida de cálices de jamaica y de una botana extrudida elaborada a base de bagazo de naranja y maíz azul, sobre parámetros fisiológicos en ratas Wistar inducidas a diabetes. Para alcanzar tal objetivo, se utilizaron 54 ratas Wistar, con un peso promedio de 180 g, divididos en nueve grupos, ocho de los nueve grupos fueron alimentados con una dieta hipercalórica por cuatro semanas, hasta alcanzar un peso promedio de 400 g, posteriormente se realizó la inducción a diabetes en los ocho grupos usando una dosis de estreptozotocina de 35 mg/kg de peso corporal. Los grupos fueron alimentados con las siguientes dietas: Ratas sanas con dieta estándar (CC), Ratas diabéticas con dieta hipercalórica (CN), ratas diabéticas con Glibenclamida (CP), ratas diabéticas con botana extrudida (EX), ratas diabéticas con botana comercial (BC), ratas diabéticas con bebida de cálices de jamaica (BeN), ratas diabéticas con bebida comercial (BeC), ratas diabéticas con botana extrudida y bebida de cálices de jamaica (EX:BeN), ratas diabéticas con botana y bebida comercial (BC:BeC), durante cuatro semanas. Posteriormente, los animales fueron sacrificados y se extrajeron los siguientes órganos: hígado, páncreas y riñón, para evaluar los posibles daños ocasionados en los mismos por el efecto del consumo de las dietas, mediante cortes histopatológicos correspondientes. Los animales alimentados con el extracto de jamaica (BeN) y el alimento extrudido (EX), fueron los que presentaron los niveles más bajos de glucosa, triglicéridos, colesterol total, HDL y LDL, mostrando diferencias estadísticamente significativas con el resto de los grupos experimentales; histológicamente no se observaron daños significativos. Los resultados experimentales indican que el consumo de la botana extrudida, elaborada empleando maíz azul y bagazo de naranja, en combinación con la bebida de cálices de jamaica, resultó ser el mejor tratamiento, logrando controlar los metabolitos séricos en sangre de los animales diabéticos.

ABSTRAC

The objective of the present work was to evaluate the effect of the consumption of a drink of calyx jamaica and an extruded snack made from orange bagasse and blue corn, on physiological parameters in Wistar rats induced to diabetes. To achieve this goal, 54 Wistar rats were used, with an average weight of 180 g divided into nine groups, eight of the nine groups were fed a hypercaloric diet for four weeks, reaching an average weight of 400 g, diabetes induction was then performed in the eight groups using a dose of streptozotocin of 35 mg / kg body weight. The groups were fed the following diets: healthy rats with standard diet (CC), diabetic rats with hypercaloric diet (CN), diabetic rats with Glibenclamide (CP), diabetic rats with extruded snack (EX), diabetic rats with commercial snack (BeN), diabetic rats with commercial drink (BeC), diabetic rats with extruded snack and drink of calyces from jamaica (EX: BeN), diabetic rats with snack and commercial drink (BC: BeC) for four weeks. Afterwards, the animals were sacrificed and the following organs were extracted: liver, pancreas and kidney, in order to evaluate the possible damages caused by diets, through histopathological cuts. Animals fed with jamaica extract (BeN) and extruded feed (EX) were the ones that had the lowest levels of glucose, triglycerides, total cholesterol. HDL and LDL, showing statistically significant differences with the rest of the experimental groups; no significant damage was observed. Experimental results indicate that the consumption of the extruded snack, made using blue maize and orange bagasse, in combination with the jamaican chalice drink, proved to be the best treatment, controlling the blood metabolites of diabetic animals.

1. INTRODUCCIÓN

La obesidad es una enfermedad crónica, de origen multifactorial, que se desarrolla a partir de la interacción de factores de tipo social, conductual, psicológicos y metabólicos (Kaufer *et al.*, 2001). A nivel mundial, más de 1,7 millones de personas tienen sobrepeso u obesidad (Dietel, 2003). En México, la prevalencia de obesidad en adultos fue del 32.87% (OCDE, 2014). La cual es un factor de prevalencia para el desarrollo de diabetes. La resistencia a la insulina en el músculo, en el hígado y en el tejido adiposo, está relacionada con el incremento de peso (Camacho, 2013).

La investigación se ha centrado en la identificación de componentes activos en los alimentos, que ofrezcan la posibilidad de mejorar las condiciones físicas, así como, reducir el riesgo de desarrollar obesidad, diabetes, hipertensión y enfermedades cardiovasculares (EUFIC, 2006).

Los alimentos que poseen en su estructura compuestos con actividad biológica, se podrían considerar, alimentos funcionales (Hasler, 2002; Falk, 2004), por lo que la industria de alimentos se ha enfocado en el desarrollo de nuevos productos, con altos contenidos de estos, dentro de los que destacan los compuestos fitoquímicos (derivados del metabolismo secundario vegetal), que al ser consumidos en concentraciones significativas, tienen la capacidad de mejorar la calidad de vida de los consumidores (Shahidi, 2004). Dentro de estos alimentos se consideran los caliz de jamaica, el maíz azul y el bagazo de naranja ya que en su composición química poseen compuestos fenólicos como antocianinas y flavonoides.

Teniendo en cuenta el incremento de enfermedades crónico-degenerativas, en los últimos años, el presente trabajo se enfocó en la evaluación de la ingesta de una bebida de jamaica, rica en fitoquímicos y una botana extrudida a base de maíz azul y bagazo de naranja, en ratas Wistar con diabetes tipo 2, con el objetivo de evaluar su efecto positivo en el control de esta enfermedad.

2. ANTECEDENTES

2.1 Obesidad y estrés oxidativo

La obesidad es una enfermedad crónica, de origen multifactorial, que se desarrolla a partir de la interacción de factores de tipo social, conductual, psicológicos y metabólicos (Kaufer *et al.*, 2001). La obesidad se mide en función del índice de masa corporal (IMC), el cual se calcula a partir del peso en kilogramos, dividido por el cuadrado de la altura en metros. Es el cálculo aceptado universalmente para estimar el grado de sobrepeso y de obesidad en la población (Lavin, 2010).

A nivel mundial, más de 1,7 millones de personas tienen sobrepeso u obesidad. En Estados Unidos, entre 2007 y 2008, la prevalencia de sobrepeso u obesidad en adultos, fue del 68%, siendo las mujeres quienes presentaron mayor incidencia que los varones (Flegal, 2008). Durante el mismo período, la obesidad en niños o adolescentes, fue de 16,9% y el sobrepeso de 17% (Ogden, 2010). En México, la prevalencia de obesidad en adultos fue del 32.87% (OCDE, 2014).

Desde el punto de vista clínico, cuando se valoran pacientes específicos, se toma en consideración el perímetro de la cintura, junto con el IMC, ya que mejora la evaluación del riesgo para la salud de un paciente. Un IMC inferior a 18 kg/m² se define como falta de peso, de 18,6-24.9 kg/m² se define como normal, superior a 25 kg/m², se define como sobrepeso y de 25-40 kg/m² indica sobrepeso hasta obesidad extrema o mórbida (Lavin, 2010). En la Tabla 1 se presenta la clasificación del riesgo de desarrollar obesidad respecto al peso.

2.1.1. Factores etiológicos

Dentro de los factores etiológicos, que contribuyen al desarrollo de obesidad, se encuentra la obesidad neuroendocrina, la cual es un incremento de peso, inducido por el consumo de fármacos o alimentos, así como una disminución del gasto energético, además de estar asociada a factores genéticos y ambientales (Lavin, 2010).

Tabla 1. Clasificación del riesgo de desarrollar obesidad respecto al peso

Riesgo de desarrollar obesidad respecto al peso y al perímetro de la cintura normales				
	IMC (Kg/m ²)	Tipo de obesidad	Hombres > 102 cm Mujeres < 88 cm	> 102 cm < 88 cm
Falta de peso	<18,5		-	-
Normal	18,6-24,9		Aumentado	Aumentado
Sobrepeso	25-29,9		Alto	Alto
Obesidad	30-34,9	I	Muy alto	Muy alto
Obesidad II	35,0-39,9	II	Extremadamente	Extremadamente
extrema	≥40	III	alto	alto

Fuente: Lavin, 2010.

La obesidad, también puede ser el resultado de factores genéticos y ambientales, los cuales incrementan el almacenamiento de energía positiva, es decir, mayor consumo de calorías y menor gasto energético. La prevalencia de obesidad, debido a factores hereditarios, es de un 30 a un 70 %, pero las variantes genéticas no han sido relacionadas con la obesidad común (Lynon, 2005; Stunkard, 1990).

Entre los factores ambientales, que producen un estado de exceso de energía, se encuentran, los prenatales, la disponibilidad de alimentos con alto valor energético, el tamaño de las porciones consumidas, presiones sociales, económicas y culturales, así como anuncios en los medios de comunicación y un estilo de vida sedentario, los cuales conllevan a un consumo excesivo de alimentos.

Es interesante observar, que el consumo de un desayuno, basado en cereales para desayuno, listos para su consumo, ha mostrado una correlación con un IMC bajo, así como un menor riesgo de desarrollo de obesidad en mujeres; lo que no sucede cuando no se toma un desayuno (Song, *et al.*, 2005). El

desayuno con alto contenido de fibra y bajo en grasa, presenta un perfil nutricional benéfico y un menor riesgo de obesidad, pero se requieren estudios para confirmar esta asociación (Camacho, 2013).

2.1.2. Epidemiología

Los riesgos de presentar obesidad grado III, son de más del 4%, para varones y de 6% para mujeres. El incremento en el IMC se relaciona con la prevalencia de diabetes mellitus tipo 2, enfermedades cardiacas (enfermedad de las arterias coronarias, infartos, insuficiencia cardiaca), hipertensión, dislipidemia (niveles elevados de lípidos en sangre), asma, artritis, diferentes tipos de cáncer (colon, cérvix, tórax, próstata y pulmón), enfermedad tromboembolia venosa y apnea del sueño (interrupción de la respiración durante el sueño) (Camacho, 2013).

2.1.3. Fisiopatología

El apetito se centra en el núcleo paraventricular, en el núcleo arqueado y en el hipotálamo lateral; y juega un papel fundamental en el consumo excesivo de calorías. La grelina (hormona encargada de estimular el apetito), es orexigénica y es producida por el estómago, provocando incremento de peso y de células adiposas, tiene el papel dominante sobre la leptina (hormona encargada de inhibir el apetito), que es anorexigénica. En el núcleo arqueado, la proteína cinasa, activada por monofosfato de adenosina (PKA), proteína agouti, neuropéptido Y, ácido γ -aminobutírico y la gelanina, inhiben los centros de saciedad de los núcleos arqueados y paraventricular, estimulan el centro de alimentos, con la hipotalámica lateral, que disminuye, también, el gasto de energía. Los péptidos en el centro de saciedad del núcleo arqueado, incluyen proopiomelanocortina (POMC), hormona estimuladora de α -melanocito, transcripción relacionada con la cocaína, anfetaminas y neurtensina (Camacho, 2013).

Las hormonas del intestino, como insulina, péptido glucagón 1 (GLP-1), péptido YY y colecistocinina, inhiben los centros de alimentación e incrementan el gasto de energía. Los polimorfismos, que afectan la secreción o transducción de señal

de cualquiera de estas vías, pueden afectar el punto de referencia de composición corporal (Camacho, 2013).

2.1.4 Tratamientos para combatir la obesidad

Existen diferentes tratamientos para combatir el sobrepeso y la obesidad, dentro de los cuales, encontramos los siguientes (Camacho, 2013):

Modificación de la dieta: todas las dietas, deben reducir el aporte calórico por debajo del gasto calórico diario. Para ello, es necesario valorar las necesidades calóricas, lo que puede hacerse por dos vías:

- a) La primera de ellas, es una sencilla, pero práctica regla general: se considera que una dieta de 10 calorías por 450 g de peso actual, suele ser segura para reducir peso.
- b) El segundo método, consiste en evaluar las necesidades calóricas, mediante un cálculo matemático. Una vez determinada la necesidad calórica, puede prescribirse un déficit calórico razonable. Un déficit calórico de 50 kcal/día (3500 kcal/semana), producirá una pérdida de aproximadamente 0.45 kg de tejido adiposo cada semana.

El ayuno no se recomienda como forma de tratamiento, debido a la pérdida proteica y a la hipotensión. También existe un mayor riesgo de muerte. El incremento de grupos cetonicos con el ayuno, inhibe la excreción de ácido úrico y puede acelerar la aparición de litiasis renal de uratos, formación de cristales en la orina, si no se trata al paciente de forma adecuada:

Dietas líquidas muy bajas en calorías (<800 kcal) y dietas líquidas bajas en calorías (800-1000 kcal). Las dietas altamente hipocalóricas (<800 kcal/día), disminuirán la pérdida de nitrógeno a < 1 g/día, desde valores de 4-6 g/día.

Dietas con reducción de calorías: las dietas con >1000 kcal/día, pueden dividirse en varias categorías, que se basan en la proporción relativa de macronutrientes y en la inclusión o no de alimentos especiales:

- a) Dieta baja en carbohidratos
- b) Dieta baja en lípidos

- c) Dieta controlada en raciones
- d) Dieta controlada en calorías

2.1.5. Tejido adiposo

El tejido adiposo, se encuentra distribuido en distintas localizaciones en el organismo. Estos depósitos se encuentran principalmente a nivel dérmico, subcutáneo, mediastínica, mesentérica, perigonadal, perirenal y retroperitoneal. Además, se distinguen dos grandes tipos de tejido adiposo, el tejido adiposo blanco y el tejido adiposo pardo o marrón. Ambos presentan diferencias, no solo en cuanto a coloración, sino también en cuanto a su morfología, distribución, nivel genético y función. El tejido adiposo pardo, posee adipocitos multiloculares con abundantes mitocondrias, que expresan altas cantidades de proteína desacoplante (UCP1), la cual es la responsable de la actividad termogénica de este tejido (Cinti, 1999). Por el contrario, el tejido adiposo blanco, está formado por adipocitos uniloculares, que contienen mitocondrias muy diferentes a las encontradas en el tejido adiposo pardo. Los adipocitos, producen leptina, una hormona que informa al cerebro del estado nutricional del individuo, para regular la ingesta y el gasto energético. La principal función de este tejido, es controlar la ingesta de energía y la distribución de la misma a otros tejidos, en los periodos interdigestivos (Cinti, 1999).

La mayor o menor acumulación de grasa, en determinadas zonas, que, en otras, del organismo, viene determinada por las variaciones regionales, en el balance entre los procesos de movilización o almacenamiento lipídico. En este sentido, mientras que las mujeres suelen presentar una acumulación, preferentemente periférica de la grasa, los hombres suelen presentar una distribución central o abdominal. Este proceso parece ser debido a que, en las mujeres, están más acentuados que en el hombre, los procesos que favorecen la movilización lipídica en los depósitos de grasa viscerales y los que facilitan el almacenamiento de lípidos en los tejidos periféricos subcutáneos grasos.

También, en situaciones de obesidad, se observan sujetos con obesidad periférica y sujetos con obesidad abdominal. Esta última, está relacionada con

el desarrollo de complicaciones metabólicas y cardiovasculares, lo que podría estar causado, debido a que las diferencias regionales en la lipólisis entre la grasa visceral y subcutánea, son más marcadas en personas con obesidad abdominal, presentando una menor respuesta lipolítica a catecolaminas en la grasa subcutánea abdominal y una estimulación de la actividad lipolítica en la grasa visceral. El incremento en ácidos grasos libres, derivado del incremento en el tamaño y en la actividad lipolítica de la grasa visceral, parece ser el responsable de las alteraciones metabólicas hepáticas, que conducen finalmente a hipertrigliceridemia, hiperinsulinemia, resistencia a la insulina, etc (Reynisdottir *et al.*, 1994).

2.1.6. Lipogénesis

El tejido adiposo blanco, es el mayor reservorio energético del organismo. La energía es almacenada en las células grasas, en forma de triglicéridos. La principal fuente de triglicéridos, para los adipocitos, procede de los quilomicrones y las lipoproteínas de muy baja densidad (LMBD) circulantes. Los triglicéridos de estas lipoproteínas, son hidrolizados hasta ácidos grasos libres y monoglicerol por la lipoproteína lipasa (LPL), que se encuentra en la pared de los capilares del tejido adiposo. Estos ácidos grasos libres, son captados por los adipocitos, a través de procesos de transporte activo, mediado por proteínas transportadoras específicas de ácidos grasos. Una vez, en el interior de la célula, los ácidos grasos son reesterificados para formar triglicéridos. Los ácidos grasos plasmáticos que circulan unidos a albúmina, también pueden ser captados por los adipocitos y reesterificarse a triglicéridos. El término lipogénesis de novo, designa específicamente la formación de ácidos grasos a partir de algún precursor derivado del adipocito, por ejemplo, glucosa. En humanos, el almacenamiento de los ácidos grasos en el tejido adiposo, depende prácticamente de la liberación de los mismos, desde las lipoproteínas por acción de la LPL. Sin embargo, se ha observado que pacientes con deficiencia de LPL, son capaces de acumular triglicéridos en el tejido adiposo (Brun *et al.*, 1989), lo que hace pensar en la implicación de otros mecanismos,

tales como la lipogénesis de novo u otras rutas alternativas como el sistema adiposina/ASP (Cianflone *et al.*, 1999).

2.1.7. Estrés oxidativo

El estrés oxidativo, es una alteración producida por un desequilibrio entre la generación de radicales libre (RL) y la defensa del sistema antioxidante (AO), que puede conducir a un estado de daño (Kehrer, 1993; Lunec, 1996; Halliwell, 1997). Esta acepción, no precisa si la alteración, es por incremento de los RL (prooxidantes) o por una disminución en la respuesta homeostática de los tejidos (defensa AO). Miller *et al.* (1993), se refieren al estrés oxidativo como la deficiencia de sustancias protectoras naturales, o de una excesiva exposición a agentes generadores de RL, en otras palabras, el estrés oxidativo se desencadena, cuando los prooxidantes exceden a la capacidad AO de un organismo. Un ejemplo, lo constituye la respuesta inflamatoria crónica, en donde la sobreproducción de especies reactivas del oxígeno (ERO), por macrófagos activados, sobrepasa la defensa AO y agrava las lesiones de los tejidos involucrados (Kehrer, 1993). En otro ámbito, la baja tensión de oxígeno, que se produce en el lapso de una isquemia (detención o disminución de la circulación de sangre, a través de las arterias de una determinada zona), induce la formación de xantina oxidasa. Durante el periodo de reperfusión tisular, esta enzima cataliza la reacción entre el oxígeno y la hipoxantina, generando ERO, de los cuales, el radical superóxido puede desencadenar la formación de nuevos RL. La alteración tisular provocada por los RL, originados en esta situación, se conoce como daño por reperfusión (Benoit, 2001; Bulger, 2001). Al atribuirse el daño oxidativo a una deficiencia de sustancias protectoras, queda establecida una estrecha relación, entre el estrés oxidativo y el estatus nutricional (Lunec, 1996). Diversos estudios han puesto de manifiesto que, una ingesta inadecuada de estos nutrientes disminuye la acción de algunas enzimas AO, lo que favorece la presentación del estrés oxidativo. Otros factores como la enfermedad, el estrés o la inducción de la respuesta inmune, llevan a un incremento en los requerimientos de vitaminas y minerales traza, la mayoría de ellos, involucrados en la defensa AO (Miller *et al.*, 1993). Es interesante

precisar, que se han observado situaciones en las cuales, la ingesta de oligoelementos, no mejora el estatus AO, hecho que se atribuye a la influencia que ejercen otros factores, sobre la expresión de la capacidad AO. Una dieta inadecuada puede no incorporar los nutrimentos necesarios para el óptimo desempeño de la defensa antioxidante, eventualmente puede contener agentes que promuevan la generación de RL, tales como toxinas o excesos de grasas poliinsaturadas.

2.1.8. Complicaciones del estrés oxidativo

La obesidad y el incrementó de estrés oxidativo (EO), se han asociado con el síndrome metabólico. Por síndrome metabólico, se conoce a todas las fisiopatologías asociadas con obesidad y diabetes. La obesidad es la manifestación fisiopatológica más temprana del síndrome metabólico y se asocia con un incremento en el EO. Existe una relación directa de la oxidación de las LDL y el incrementó en el daño oxidativo, en las lipoproteínas circulantes en plasma, este incrementó se relaciona con obesidad abdominal y con el desarrollo del síndrome metabólico. La hiperglicemia, constituye la principal manifestación de la diabetes mellitus y está implicada en la aparición de las complicaciones que se presentan asociadas con la enfermedad. Estas consisten, en un grupo heterogéneo de disfunciones clínicas que afectan el sistema nervioso, el sistema vascular, el riñón, la retina, el nervio periférico, el lente y la piel (Baynes, 1991; Van Dam *et al.*, 1996).

La susceptibilidad de los tejidos a la exposición de RL en diabetes espontánea y experimental, es muy variada y se modifica en el desarrollo de la enfermedad (Kakkar *et al.*, 1995). En el estudio de las causas implicadas en la aparición de esta patología, se ha demostrado que valores elevados de glicemia, conducen a un estrés oxidativo. Esto se debe, a que la glucosa se auto-oxída, y da lugar a la formación de alfacetoaldehídos, peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y radical superóxido (O₂), entre otras especies reactivas del oxígeno (ERO) (Van Dam *et al.*, 1996; Galen, 1996). De igual manera, se plantea que el descontrol de la glicemia, conduce al incremento de la velocidad de los procesos de glicosilación

y oxidación de lípidos y proteínas de membrana, lo que provoca cambios conformacionales de estas macromoléculas y, por lo tanto, el deterioro de sus funciones (Bayne, 1991; Stevens *et al.*, 1995).

2.2. Diabetes

La diabetes, ocupa el primer lugar de mortalidad en la población económicamente activa de nuestro país, representado un problema de salud pública de primer nivel. Por lo tanto, el estudio de la diabetes, representa un compromiso muy importante para el equipo de salud. La diabetes mellitus, también es una causa de insuficiencia renal, ceguera en adultos y amputaciones no traumáticas de miembros. Las cardiopatías y el ictus (enfermedad cerebrovascular que afecta a vasos sanguíneos que suministran sangre al cerebro), son las principales causas de muerte en diabéticos (Lavin, 2010).

La diabetes mellitus tipo II, es una enfermedad crónica relacionada con la homeostasis de la glucosa, caracterizada por la hiperglucemia y por el deterioro en la acción de la insulina, con una secreción anómala de insulina pancreática, así como mayores tasas de producción de la glucosa hepática. La diabetes mellitus tipo II, desarrolla un estado de insuficiencia relativa de insulina (Camacho *et al.*, 2013), es una enfermedad compleja y progresiva, esta afección se debe a la combinación de un déficit de las células β pancreáticas, una resistencia a la insulina, en los tejidos adiposos y el musculo esquelético y una producción hepática excesiva de glucosa (Lavin, 2010).

Según la Asociación Americana de Diabetes, ADA, por sus siglas en inglés, las personas se pueden clasificar de acuerdo a la producción de glucosa como normales, con alteración de la glucemia en ayunas o diabéticas, dependiendo de la glucemia. Según las directrices de 2003 de la ADA (Tabla 2), el termino normal, define una glucemia en ayunas <100 mg/dL; la alteración de la glucemia en ayunas o prediabetes, se define como una glucemia en ayunas de 100 a 125 mg/dL; la diabetes mellitus manifiesta, se define como una glucemia en ayunas ≥ 126 mg/dL (Lavin, 2010). Los criterios de la organización mundial

de la salud (OMS), reflejan una glucemia en ayunas <115 mg/dL como normal, y de 115-140 mg/dL, como alteración de la tolerancia a la glucosa o diabetes inciertas, por lo que se necesita una prueba de tolerancia a la glucosa oral de 2 h. En esta prueba, un valor <140 mg/dL es normal, mientras que un valor entre 140-200 mg/dL, es diagnóstico de alteración de la tolerancia a la glucosa y cuando es >200 mg/dL, indica diabetes.

Tabla 2. Diagnóstico de la diabetes mellitus de tipo 2

Glucemia mg/dl	Interpretación
Ayunas	
<100	Dentro de los valores normales de referencia
100-125	Alteración de la glucemia en ayunas/perdiabetes
≥126	Diabetes mellitus
Prueba de tolerancia a la glucosa oral de 2h (75g)	
<140	Dentro de los valores normales de referencia
140-199	Alteración de la glucemia en ayunas/prediabetes
≥200	Diabetes mellitus

Fuente: Lavin, 2010.

2.2.1. Factores etiológicos

El origen de la diabetes mellitus tipo II es multifactorial, e incluye factores genéticos y ambientales. El incremento de la prevalencia de este padecimiento en las últimas décadas, se asocia a dos tipos de factores de riesgo: los llamados no modificables, como edad, sexo, grupo étnico y antecedentes familiares, y por otra parte, los factores modificables, relacionados con el estilo de vida, como alimentación, actividad física, estrés, consumo de alcohol, tabaquismo y otras adicciones, así como por la obesidad (Lavin, 2010).

El factor genético, tiene un importante efecto en la prevalencia de la enfermedad, algunos grupos étnicos presentan cifras elevadas, como los individuos de raza negra (9.9 %), los mexicanos (10.7 %), los indios Pima en

Estados Unidos de Norte América (34.1 a 50 %), los aborígenes en Australia (12.6 %) y los chinos de la isla Mauricio (15.8 %).

2.2.2. Epidemiología

La diabetes es un problema de salud pública y una de las principales causas de muerte y discapacidad en adultos, además, implica elevados costos para su cuidado, tanto para los enfermos y sus familias, como para el sistema de salud. Su prevalencia continúa en ascenso en todo el mundo. La OMS, estima que en el mundo hay más de 180 millones de personas diabéticas y es probable, que esta cifra se incremente a más del doble en el año 2030 (Camacho, 2013).

La prevalencia de diabetes incrementa con la edad, se estima, que el 20% de los sujetos mayores de 65 años tienen diabetes. A nivel mundial, la prevalencia de la diabetes es diferente de una región a otra, algunas áreas con prevalencias más altas que otras. La ADA estimó, que los costos directos de atención a personas con diabetes ascendieron a 116 millones de dólares en 2007, más otros 58 mil millones de dólares en costos indirectos, debido a la discapacidad, a la pérdida de trabajo y a la mortalidad prematura (Camacho, 2013).

2.2.3. Fisiopatología

La diabetes mellitus tipo II, tiene tres características: resistencia a la insulina, insuficiencia relativa de insulina y una acción deteriorada de la incretina. La resistencia a la insulina en el músculo, en el hígado y en el tejido adiposo, está relacionada con el incremento de peso (Camacho, 2013).

2.2.4. Tratamiento de la diabetes

El efecto de la dieta en el control de la glucosa, se observa desde fases iniciales, antes de cualquier pérdida de peso demostrable. La pérdida de peso, se asocia con una mejoría significativa, en el control glucémico, ya sea por la dieta, el ejercicio, la modificación de la conducta, los medicamentos para bajar de peso o por cirugía bariátrica. Los programas asociados con la pérdida de peso del 5% al 10%, entre 3 a 4 meses, tienen un control glucémico mejorado. Incrementar el porcentaje de pérdida de peso, puede resultar en la

normalización de la glucosa en ayuno, en pacientes recién diagnosticados con diabetes. Llevar una dieta baja en calorías (800 kcal/día), produce un mayor control glucémico, que dietas a largo plazo de 6 a 12 meses (Camacho, 2013).

2.3. Alimentos funcionales

Un alimento puede considerarse funcional, si se demuestra que ejerce un efecto benéfico sobre una o más funciones selectivas del organismo, además de sus efectos nutritivos intrínsecos, de modo tal, que resulte apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar, así como reducir el riesgo de enfermedad o ambas cosas (Ashwell, 2005).

El concepto de alimento funcional, se originó en Japón, como un medio para mejorar la salud en la nación y reducir el consumo de la economía causada por los altos costos de salud. De esta manera, se ha despertado un creciente interés, en el área de alimentos funcionales, tanto en Europa y como en los E.U.A. (Nestec, 1997). En este contexto, nacen los denominados “Alimentos funcionales”, un área de crecimiento global.

En Estados Unidos, en 1994, la Academia Nacional de Ciencias de los Alimentos (*Nacional Academy of Sciences' Food*) y el comité de Nutrición (*Nutrition Board*), definieron a los alimentos funcionales como “alimentos modificados o ingredientes que pueden proveer un beneficio para la salud, más allá de los nutrientes que poseen (Hasler, 2002). En el año 2004, la Asociación Americana Dietética (ADA) emitió un documento institucional, sobre los alimentos funcionales, donde los definen como aquellos que tienen efectos benéficos sobre la salud, cuando son consumidos, como parte de una dieta variada, a niveles efectivos; la definición abarca alimentos integrales, fortificados, enriquecidos o mejorados (diseñados) (Hasler, *et al.* 2004).

Aunque no se ha logrado una definición del término “alimento funcional” que sea aceptada globalmente, el concepto general, es que son alimentos o componentes alimenticios, cuyo consumo, además de una nutrición básica, genera beneficios a la salud y/o reduce el riesgo de enfermedad. Un alimento o componente alimenticio funcional, puede ser un macronutriente, con efecto

fisiológico específico o un micro-nutriente esencial, pero también, puede ser un componente alimenticio que, aunque no tenga un alto valor nutritivo o no sea esencial, su consumo logre la modulación de alguna función en el organismo o que reduzca el riesgo de enfermedad, como es el caso de la fibra y algunos minerales (Roberfroid, 1999).

2.3.1. Alimentos extrudidos con alto contenido en fibra.

La extrusión es un proceso importante en la elaboración de alimentos. Es capaz de efectuar diversas operaciones unitarias, tales como, cocción, formado, texturizado y deshidratado de materiales alimenticios (Liu *et al.*, 2000), particularmente aquellos como granos, leguminosas y semillas. Estas operaciones, se llevan a cabo en un equipo compacto, denominado extrusor, el cual presenta una elevada eficiencia energética y necesita un espacio pequeño. La cocción por extrusión es versátil y de bajo costo, debido a un uso más eficiente de la energía y mayor control del proceso. En el extrusor, las materias primas están sujetas a procesos mecánicos (calentamiento, compresión, fricción e hinchamiento), que desorganizan completamente su estructura, causando gelatinización del almidón, desnaturalización de las proteínas; inactivación de enzimas, microorganismos y factores antinutricios (inhibidores de tripsina, taninos y fitatos), además de retener el color y sabor natural de los alimentos, así como nutrientes, ya que las altas temperaturas se aplican en corto tiempo sobre la materia prima (Camire *et al.*, 1990). Hoy en día, existen en el mercado, diferentes tipos de alimentos, elaborados a partir del proceso de extrusión, entre los cuales se encuentran pastas, cereales para desayuno, botanas, alimentos para bebés y alimentos para mascotas. Los alimentos que contienen almidón y/o proteína, son plastificados y cocinados, debido a transformaciones moleculares y reacciones químicas, que ocurren como resultado de la combinación de humedad, presión, temperatura y esfuerzo de corte (Castells *et al.*, 2005). Los componentes de los materiales alimenticios que tienen un papel importante, en el proceso de extrusión, son: contenido de humedad, almidón, proteína, lípidos y fibra.

Brennan (2012), realizó un estudio para evaluar la glucemia postprandial, al consumir botanas listas para consumo, con un elevado contenido de fibra de psyllium y salvado de avena, el cual mostró que la ingesta de estas botanas, disminuyó la digestibilidad de almidón, así como la glucemia postprandial, sugiriendo la posible inclusión de fibra de psyllium, en la formulación de comida rápida, como control de glucosa postprandial.

2.4 Bebidas funcionales

La prevalencia de sobrepeso, obesidad y diabetes, se ha incrementado con rapidez en México, debido a la ingesta de bebidas azucaradas, las cuales representan la quinta parte de la energía que consumen los mexicanos. Se ha determinado que el 21% de las calorías que consumen adolescentes y adultos, provienen de bebidas, particularmente de refrescos, jugos, leche entera y alcohol. Estas calorías que aportan los líquidos, se suman a las calorías provenientes de los alimentos de la dieta y contribuyen al consumo excesivo de energía, la cual está relacionada con la aparición de enfermedades como sobrepeso, obesidad y diabetes (Figura 1). Con base a lo anterior, se han establecido recomendaciones para el consumo de bebidas, las cuales son lineamientos, para satisfacer la mayor cantidad posible, de las necesidades diarias de líquidos, a través del consumo de agua y de otras bebidas, con bajo contenido energético, para promover un buen estado nutricional (Rivera *et al.*, 2008).

Dentro de las bebidas recomendadas para su consumo, se encuentran las elaboradas a base de extractos naturales, cuyo consumo se ha incrementado en los últimos años, debido a su aporte importante de agua, pero principalmente al efecto positivo a la salud que presentan los fitoquímicos y los micronutrientes que contienen. Dichos beneficios, han permitido incluir a este tipo de productos dentro de bebidas funcionales. Las bebidas funcionales, han incrementado el número de nuevos productos, en la clasificación de bebidas a nivel mundial, pero, además, es una de las áreas de mayor crecimiento en la industria de alimentos y bebidas (Rivera *et al.*, 2008).

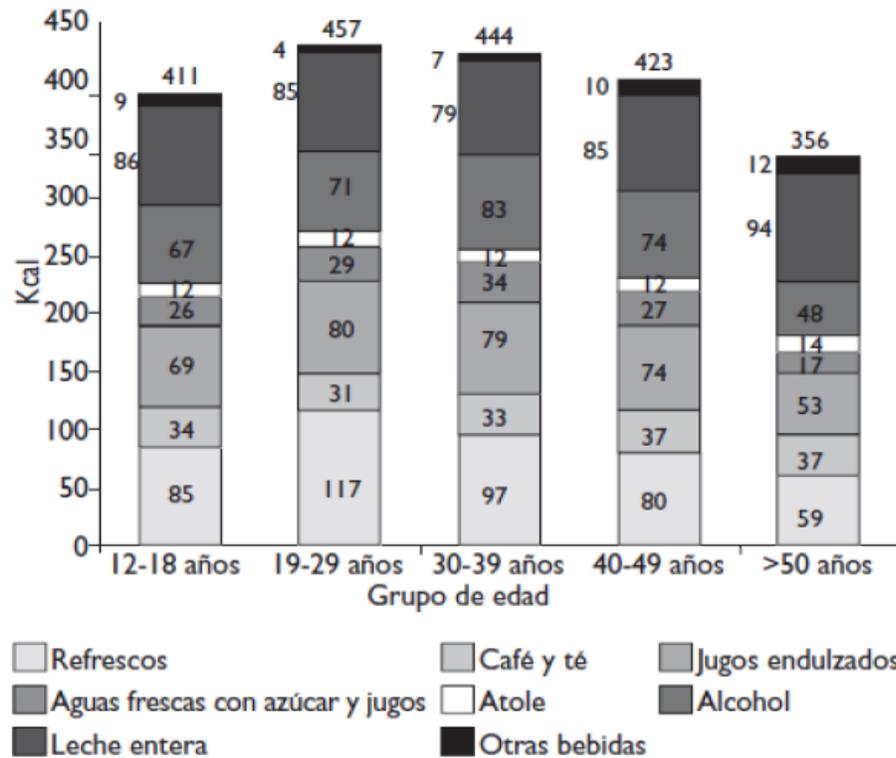


Figura 1. Consumo calórico diario proveniente de bebidas en adolescentes y adultos, por grupo de edad en 2006 en México. **Fuente:** Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT), 2006.

2.4.1. Bebidas y obesidad

Una bebida de extracto natural, se obtiene a partir de hojas deshidratadas, flores y/o frutos, las cuales se vierten o se introducen en agua a punto de hervir. Los principales compuestos con actividad biológica, presentes en estas bebidas son los polifenoles, los cuales son un conjunto heterogéneo de moléculas que comparten la característica de poseer en su estructura, varios grupos bencénicos, sustituidos por grupos hidroxilos (Apak *et al.*, 2007). Los polifenoles, se consideran constituyentes importantes en la dieta del humano, ya que su consumo provee efectos positivos a la salud. Estudios previos, han demostrado que los polifenoles, presentes en infusiones como el té verde,

pueden ayudar a evitar o disminuir alteraciones en el metabolismo de lípidos, causados por enfermedades como la obesidad (Meydani y Hasan, 2010). Algunos de los mecanismos de acción reportados, para los polifenoles del té verde y su efecto antiobesogénico, se incluye la supresión de la diferenciación y proliferación de los adipocitos, la inhibición de la absorción de grasa desde el intestino, así como la disminución de absorción de lípidos, triglicéridos en plasma, ácidos grasos libres, colesterol, glucosa, insulina y leptina, incrementando la β -oxidación y la termogénesis, tanto en cultivos celulares como en modelos de obesidad (Wólfram, 2005; Hursel y Westerterp-Plantenga, 2010).

2.5. Fenoles

Los compuestos fenólicos, se clasifican como antioxidantes primarios, los cuales son captadores de RL, retrasan o inhiben la etapa de iniciación o interrumpen el paso de propagación de la oxidación de lípidos, lo que disminuye la formación de compuestos volátiles (por ejemplo, aldehídos y cetonas), que causan rancidez. El potencial antioxidante, de los compuestos fenólicos, depende del número y disposición de los grupos hidroxilo en las moléculas de interés (Cao *et al.*, 1997; Sang *et al.*, 2002). Los antioxidantes fenólicos (AH), pueden donar átomos de hidrógeno a los radicales y lípidos, los cuales producen derivados de lípidos y radicales antioxidantes, que son más estables y menos disponibles para promover la auto-oxidación (Kiokias *et al.*, 2008).

El consumo de compuestos fenólicos, se ve afectado en gran medida, por los hábitos alimenticios y las preferencias de los individuos (Shahidi y Naczki, 2004). La ingesta diaria, promedio de polifenoles en la dieta, es de aproximadamente 1 g por persona; las principales fuentes son bebidas, frutas y en menor proporción, verduras y legumbres (Scalbert y Williamson, 2000).

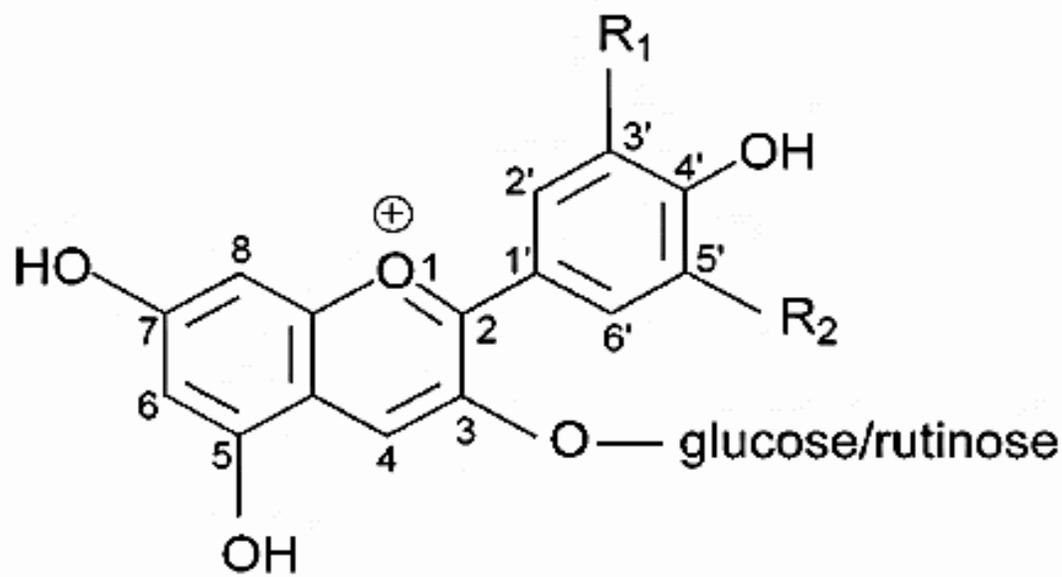
Los fenoles simples, como los conjugados del ácido hidroxicinámico y los flavonoides, son componentes importantes de frutas, verduras y bebidas obtenidas de plantas. Estos compuestos proveen una amplia gama de la actividad antioxidante *in vitro* (Rice-Evans *et al.*, 1995) y se cree que ejercen

efectos protectores contra enfermedades como cáncer y cardiovasculares (Boudet, 2007), el estrés oxidativo provocado por especies reactivas de oxígeno (ROS), juega un papel crucial en la fisiopatología asociada con neoplasia (formación de tumores), la aterosclerosis y enfermedades neurodegenerativas.

2.6. Antocianinas

Las antocianinas, constituyen el mayor grupo y probablemente, el más importante de los pigmentos hidrosolubles naturales (Takeoka y Dao, 2002). Hasta la fecha, se han identificado más de 635 antocianinas en la naturaleza, las antocianinas son responsables de proporcionar el color azul intenso, púrpura y rojo de muchas frutas, verduras y flores (Andersen y Jordheim, 2008). La palabra antocianina se deriva de dos palabras griegas, Anthos y kyanos, es decir, la flor y el azul oscuro, respectivamente (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003).

La estructura básica de las antocianinas más comunes, se presenta en la Figura 2. Han sido reconocidas, como sustancias que mejoran la salud, debido a su actividad antioxidante, anti-inflamatoria, anticancerígena, así como un efecto hipoglucémico. Las antocianinas se absorben en el intestino delgado y posteriormente pasan al torrente sanguíneo (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003). Aunque se han descrito doce antocianidinas diferentes, las más comunes en las plantas son: pelargonidina, cianidina, delfinidina, peonidina, petunidina y malvidina. Las tres primeras son más frecuentes en frutos, en tanto que el resto, lo son en flores. En las plantas, las antocianidinas no se acumulan como tal, sino en su forma glicosilada; esto es, unidas a algún azúcar y en cuyo caso se denominan antocianinas. El azúcar presente en la molécula de las antocianinas, les confiere una gran solubilidad y estabilidad, generalmente se une a la antocianidina en la posición 3 del grupo fenólico, pero puede también hacerlo en las posiciones 5 y 7. De acuerdo al número de azúcares presentes en la estructura de las antocianinas, estas se clasifican en: monoglucósidos (un azúcar), diglucósidos (dos azúcares) y triglucósidos (tres azúcares) (Strack y Wray, 1989).



Pelargonidin-3-glucoside: $R_1=H$, $R_2=H$, **11**

Cyanidin-3-glucoside: $R_1=OH$, $R_2=H$, **6**

Delphinidin-3-glucoside: $R_1=OH$, $R_2=OH$, **1**

Peonidin-3-glucoside: $R_1=OCH_3$, $R_2=H$, **15**

Petunidin-3-glucoside: $R_1=OCH_3$, $R_2=OH$, **9**

Malvidin-3-rutinoside: $R_1=OCH_3$, $R_2=OCH_3$, **20**

Figura 2. Estructura y sustituyentes de las antocianinas. **Fuente:** Durst y Wrolstad, 2001.

2.6.1. Propiedades funcionales de las antocianinas.

El interés en las antocianinas, se ha intensificado recientemente, debido a sus propiedades farmacológicas y terapéuticas (Astrid, 2008). Las antocianinas, cuando son ingeridas por los mamíferos, pasan del tracto digestivo, al torrente sanguíneo, sin cambios en su estructura (Miyazawa *et al.*, 1999), ejerciendo efectos terapéuticos, tales como, reducción en la incidencia de enfermedades coronarias, efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatorios y antidiabéticos; además de mejorar la agudeza visual y el comportamiento

cognitivo. Los efectos terapéuticos, tal vez, más importantes de las antocianinas, están relacionados con su actividad antioxidante. Estudios con antocianinas provenientes del vino, han demostrado, que son efectivas en neutralizar especies reactivas de oxígeno, además de inhibir la oxidación de lipoproteínas y la agregación de plaquetas (Ghiselli *et al.*, 1998). Wang y Jiao (2000) y Wang y Lin (2000), han demostrado que frutos ricos en antocianinas, tienen una elevada actividad antioxidante, contra la presencia de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y contra radicales peróxidos (ROO[·]), superóxido (O₂⁻), hidroxilo ([·]OH) y oxígeno singulete (O₂).

2.6.2. Toxicidad de las antocianinas

Los animales y los seres humanos, han consumido antocianinas, desde la antigüedad. No se ha reportado ningún impacto adverso en la salud, con el consumo oral de antocianinas en los alimentos (Brouillard, 1982). El uso de antocianinas como colorantes naturales, en alimentos y bebidas, es permitido dentro de Europa, Japón, Estados Unidos, entre otros (Eder, 2000). Basado en estudios toxicológicos de mutagenicidad, toxicidad reproductiva, teratogenicidad, toxicidad aguda, realizados por el Comité Mixto FAO/OMS. Expertos en Aditivos de Alimentos (JECFA), concluyeron que los extractos que contienen antocianinas, tenían una toxicidad muy baja (OMS, 1982).

El efecto no observado (NOEL) en ratas jóvenes era de aproximadamente de 225 mg/kg de peso corporal, en un estudio de reproducción de dos generaciones. Basándose en el resultado anterior, la ingesta diaria admisible (IDA), para el ser humano, se estimó en 2.5 mg/kg de peso corporal, por día en 1982, utilizando la ecuación de IDA = NOEL/100 (Clifford, 2000).

2.7. Fibra dietaria

La Asociación Americana de Químicos de Cereales (AACC), define a la fibra dietética o dietaria, como la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos, que son resistentes a la digestión y a la absorción en el intestino delgado, con fermentación parcial o completa en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias

asociadas a la planta. La fibra dietaria promueve efectos benéficos fisiológicos, como laxantes y/o atenuación de los niveles de colesterol y/o glucosa en sangre (Escudero, 2006).

2.7.1 Clasificación de la fibra por su solubilidad

De acuerdo a su solubilidad en agua, la fibra dietaria se divide en soluble e insoluble:

La **fibra dietaria soluble**, incluye hemicelulosa, pectina, gomas, mucílagos, estos se encuentran de forma natural en alimentos como frutas y verduras. Después de su ingesta, la fibra soluble, forma una masa viscosa, atrapando sustancias tales como colesterol, azúcares, toxinas, etc., ayudando finalmente a su excreción. Mientras que la **fibra insoluble** incluye celulosa, lignina y algunas hemicelulosas, que se encuentran en alimentos como granos enteros, es la que les da volumen a las heces, y ayuda a aliviar el estreñimiento y a limpiar el colon (Stojceska *et al.*, 2008; FAO, 2014).

2.7.2. Componentes de la fibra

La clasificación propuesta por Ha (2000), incluye los principales componentes (Figura 3):

Polisacáridos no amiláceos: Los polisacáridos, son todos los polímeros que están constituidos de por lo menos veinte residuos de monosacáridos. El almidón digerido y absorbido en el intestino delgado es un polisacárido, por ello se utiliza el término polisacáridos no amiláceos, para aquellos que llegan al colon y poseen los efectos fisiológicos de la fibra. Podrían clasificarse en celulosa, β -glucanos, hemicelulosas, pectinas y análogos, gomas y mucilagos (Tabla 3) (Escudero, 2006).

Oligosacáridos resistentes: Carbohidratos con un nivel de polimerización menor, tiene de tres a diez moléculas de monosacáridos. Se dividen en fructooligosacáridos (FOS) e inulina, galactooligosacáridos (GOS), xilooligosacáridos (XOS), isomaltooligosacáridos (IMOS).

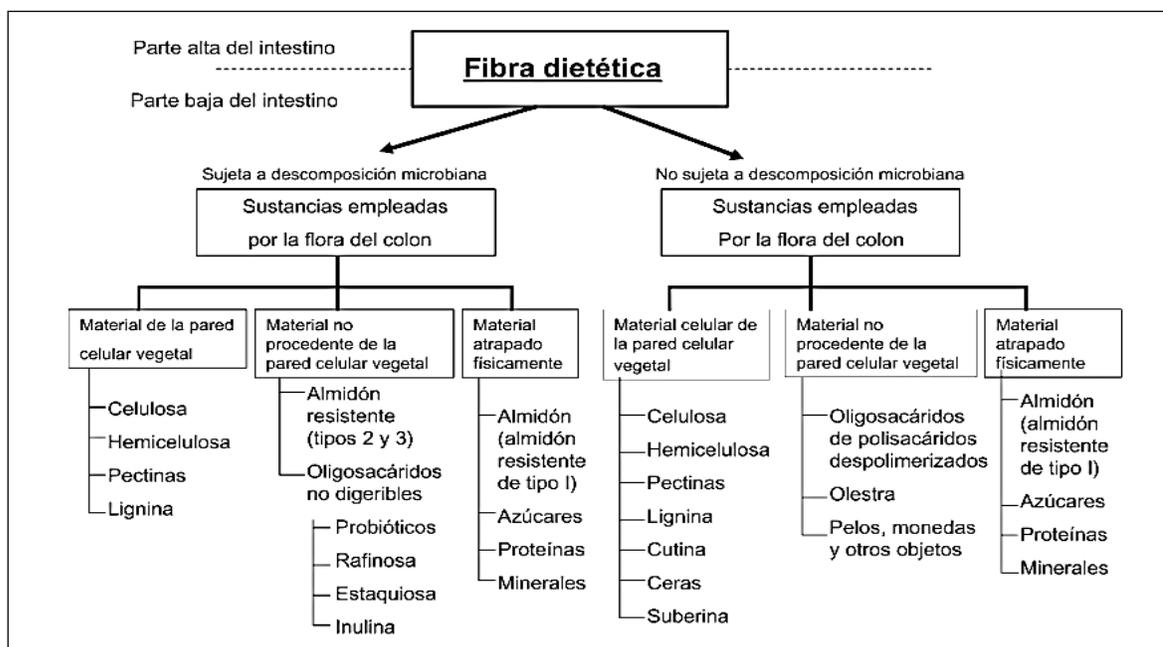


Figura 3. Clasificación de la fibra dietaria. **Fuente:** Ha, 2000.

Tabla 3. Polisacáridos no amiláceos

- Celulosa: Compuesto más abundante de la pared celular de los vegetales. Fuentes: verduras, frutas, frutos secos y cereales (salvado).
- β -Glucanos: Definición. Fuente: vegetales.
- Hemicelulosa: Se encuentran asociados a la celulosa como constituyente de las paredes. Fuente: Vegetales y salvado.
- Pectina y análogos: Se encuentran en la laminilla media de la pared de las células vegetales. Fuente: Cítricos y manzana.
- Gomas: Proviene de la transformación de polisacáridos de la pared celular (traumatismo). Fuente: Arábica, karaya, tragacanto, gelana.
- Algarrobo y guar (conceptualmente no son gomas auténticas).
- Mucílagos: Constituyentes celulares normales y con capacidad de retención hídrica. Fuente: Semillas del plántago, flores de malva, semillas de lino y algas.

Fuente: Escudero, 2006.

Ligninas: No es un polisacárido, sino un polímero que resulta de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos; contribuye a dar rigidez a la pared celular, haciéndola resistente a impactos y flexiones. La lignina no se digiere, ni se absorbe, es atacada por la microflora bacteriana del colon. Una de sus propiedades, es la capacidad que posee de unirse a los ácidos biliares y al colesterol, retardando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado (Escudero, 2006).

Almidones resistentes: Representan la suma del almidón nativo y algunos productos de su degradación, que no son absorbidos en el intestino delgado de los individuos y se dividen en cuatro tipos (Escudero, 2006):

- **Tipo 1 o AR1** (físicamente innaccesible): se encuentra en semillas, granos de cereales enteros y leguminosas.
- **Tipo 2 o AR2** (nativo): no puede ser atacado enzimáticamente, si antes no se gelatiniza. Sus fuentes son las papas crudas, plátano verde y la harina de cereales.
- **Tipo 3 o AR3** (retrogradado): almidón que cambia su conformación por efecto del tratamiento térmico. Al ser calentado en presencia de agua, se produce una disrupción de su estructura granular, liberando las cadenas de polisacáridos, adquiriendo una conformación al azar, este proceso se denomina gelatinización. Al enfriarse, comienza un proceso de recristalización, llamado retrogradación.
- **Tipo 4 o AR4** (modificado): almidón modificado químicamente de forma industrial.

2.7.3. Propiedades y efectos fisiológicos de la fibra dietaria.

Si bien, el consumo regular de alimentos ricos en fibra, es parte de una dieta saludable, cabe señalar que no todas las personas pueden consumir alimentos ricos en fibra (Christakis, 1970). Se debe considerar también, que la relación entre la fibra y la aparición de diversas enfermedades no son una relación causa-efecto.

Desde el contexto nutricional, las repercusiones fisiológicas del consumo de fibra, derivan de algunas características tales como: capacidad de retención de agua, viscosidad, carga iónica, y capacidad de absorción. El comportamiento de los distintos tipos de fibra, en relación con el agua, es muy diferente; de ahí la clasificación que por muchos años se manejó, de fibra “soluble e insoluble”, ya que adsorben y retienen agua en mayor o menor grado. Los componentes de la fracción insoluble, se caracterizan por su escasa capacidad para formar soluciones viscosas en el estómago y en el intestino delgado; además de su baja fermentabilidad y retención de agua en el colón, este tipo de fibra favorece el tamaño de bolo fecal e incrementa la velocidad del tránsito, lo que se manifiesta con un efecto laxante (Marlett, 2003).

2.8. Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Hibiscus sabdariffa es una planta herbácea, arbustiva, semileñosa, anual o bianual, que pertenece a la familia Malvaceae y alcanza entre uno y tres metros de altura. Sus tallos, son abundantes y altamente ramificados, de corteza roja, con hojas alternas de bordes irregularmente aserrados (Ortiz-Márquez, 2008). Sus flores son de color rojo en la base y más pálido en los extremos, contienen un cáliz carnosos y generalmente de un color rojo más intenso. Los cálices son lo más destacable de la planta. Se cosechan en el momento en que alcanzan un tono rojo oscuro (SAGARPA-ASERCA, 1999).

2.8.1 Producción nacional de jamaica (*hibiscus sabdariffa* L.)

El cáliz de jamaica, en México, se agrupa en el sector de especias y plantas medicinales, siendo un cultivo no tradicional, que se desarrolla en regiones, donde predomina un clima cálido-húmedo. La producción a nivel mundial la encabeza China con 27.76% de la producción, seguido de India con 17.91%, Uganda 8.4%, Indonesia 6.23%, Malasia 5.53% y en séptimo lugar, se encuentra México, con el 5.14% (SAGARPA-CONACyT, 2010). En México, se cosechan 19 mil hectáreas de jamaica, con un rendimiento promedio de 360 kg/Ha. Aunque la superficie cosechada y el rendimiento por unidad de superficie son bajos, los agricultores obtienen altos ingresos por su comercialización y

elevada demanda. En los estados de Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Puebla, se cultiva 95.39 % de la superficie cosechada, de la producción nacional, el restante se produce en los estados de Nayarit, Campeche, Colima, Jalisco, México y Sinaloa (SIAP, 2014).

2.8.2. Hibiscus Sabdariffa variedad “Criolla”

Actualmente, toda la producción, proviene de una variedad criolla, que se siembra únicamente en el ciclo agrícola de primavera-verano. Esta especie es de fotoperiodo (día) corto, por lo que la producción se concentra en una sola época del año y su rendimiento es bajo (Ariza-Flores *et al.*, 2014).

2.8.3. Composición química

La composición de los cálices de jamaica varía, principalmente, de acuerdo a la variedad, color y diferencias genéticas. En la Tabla 4, se describe la composición química de los cálices de jamaica variedad roja. En la cual, se puede apreciar un contenido importante de fibra cruda y ácido ascórbico. Respecto al contenido de compuestos bioactivos (fenoles y antocianinas), también varía según la variedad de jamaica, así como al método de extracción utilizado. Así mismo, la jamaica es una fuente importante de calcio y magnesio (Alarcón-Corredor, 2009).

2.8.4 Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

El color de los cálices de jamaica, está asociado al contenido y tipo de fenoles. Los cálices oscuros tienen más antocianinas que los claros, pero los blancos o verdes carecen de estos flavonoides (Christian y Jackson, 2009) o están en cantidades mínimas (Salinas-Moreno *et al.*, 2012). La caracterización de los ácidos fenólicos de extractos acuosos de jamaica es limitada (Rodríguez-Medina *et al.*, 2009; Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2011) y se ha realizado en variedades con cálices coloridos, por lo que se desconoce la composición de los blancos. La variedad Alma Blanca se caracteriza por el alto contenido de ácidos fenólicos, que son otro grupo importante de compuestos en la jamaica y

se encuentran en forma libre o conjugada. En frutas y hortalizas, están principalmente en forma libre (Shahidi y Naczki, 2004) y en los cereales, predominan en forma conjugada o ligada (Liu, 2007).

Tabla 4. Composición química de cálices de jamaica roja.

Compuesto	jamaica roja
Humedad	11.0
Proteína cruda	7.88
Fibra cruda	13.2
Grasas	0.16
Cenizas	10.6
Carbohidratos totales	57
Ácido ascórbico	11.0
Acidez titulable (mg/100g)	9.0
Sólidos solubles totales (%)	5.0
Calcio (mg/100g)	60.0
Hierro (mg/100g)	25.0

Fuente: Mohamed *et al.*, 2012.

La actividad antioxidante, asociada a las bebidas elaboradas a partir de la decocción acuosa de los cálices de jamaica (Prencesti *et al.*, 2007), se atribuye a los fenoles que contienen, donde destacan las antocianinas (Sáyago-Ayerdi *et al.*, 2007) y los ácidos fenólicos. De estos últimos, el ácido clorogénico y sus derivados, son los más importantes (Fernández-Arroyo *et al.*, 2011).

Reyes-Luengas (2015), realizó un estudio, en el cual se determinó el contenido de ácidos fenólicos totales (AFT), de las variedades Sudan, Criolla Nayarit y Alma Blanca. Los cálices de la variedad Alma Blanca, tuvieron un contenido mayor de AFT (10.71 mg), siendo este superior en comparación a las especies Sudan y Criolla Nayarit. En lo que respecta a la capacidad antioxidante, medida por el método DPPH, de las tres variedades, los resultados obtenidos para

Sudán ($IC_{50} = 113.3 \text{ mg mL}^{-1}$; b), Criolla N. ($IC_{50} = 142.0 \text{ mg mL}^{-1}$; a) Alma Blanca ($IC_{50} = 139.7 \text{ mg mL}^{-1}$; a), la variedad Sudán presentó IC_{50} menor que Alma Blanca y Criolla Nayarit, es decir, tiene poder antioxidante mayor, atribuido a su contenido alto de antocianinas, la actividad antioxidante de la variedad Alma Blanca, se atribuye a los ácidos fenólicos, pues prácticamente carece de antocianinas. Los resultados mostraron el potencial antioxidante (ácidos fenólicos), de las variedades de cálices blancos similar al de las variedades con cálices de otro color.

2.9. Maíz

El maíz (*Zea mays L.*), pertenece al reino Plantae, a la clase angiosperma, a la subclase monocotiledónea, al orden de los cereales y a la familia de las gramíneas. En México, las culturas prehispánicas llamaron centli a la mazorca y tlaolli al grano (Galarza, 2011). La planta de maíz alcanza de uno a seis metros de alto, dependiendo de la variedad. Las hojas forman una larga vaina enrollada al tallo y un limbo más ancho y alargado (Galarza *et al.*, 2011). En cada mazorca, se ven las filas de granos, cuyo número puede variar de ocho a treinta. A cada grupo le corresponde un largo hilo sedoso que sobresale al extremo de la mazorca (Beltran *et al.*, 2001).

México es uno de los principales productores de maíz a nivel mundial, ocupa el cuarto lugar, después de Estados Unidos, China y Brasil; aunque también, es uno de los principales importadores del mismo (Paredes-López *et al.*, 2006). El maíz es una de las especies cultivadas más productivas, tiene alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo. El éxito de la tecnología, basada en la ciencia para el cultivo del maíz, ha estimulado una revolución agrícola generalizada en muchas partes del mundo. Este cereal se ha convertido, en el mundo, en un sustento permanente para campesinos, es un alimento barato para millones de personas y materia prima estratégica, de la ganadería mundial y de la industria de

alimentos (Agama-Acevedo, 2006). En nuestro país, es el alimento básico para millones de personas, el cual es consumido principalmente como tortilla.

2.9.1 Estructura del grano de maíz

Desde el punto de vista estructural, el grano maduro o cariósido del maíz, está formado por cuatro partes principales (Figura 4):

Germen: Se origina por la fusión de un núcleo del grano de polen (paterno) y un núcleo del saco embrionario (materno). Representa, en promedio, el 11.5% del peso del grano seco, se considera el primer tejido de reserva, puesto que almacena gran cantidad de nutrimentos, que son utilizados durante la germinación, como lípidos, carbohidratos y proteínas. El germen está compuesto por el axis embrionario, el cual representa el 10% del peso del germen, el escutelo, que comprende el 90% restante y almacena los nutrientes, que se movilizarán rápidamente durante la germinación. La superficie del escutelo en contacto con el endospermo, que es una capa profunda surcada por canales o glándulas lineales con células secretoras, cuya función es secretar enzimas α -amilasas, que se difunden dentro del endospermo, donde digieren el almidón y otros constituyentes, para proveer de nutrientes al embrión (González, 1995).

Endospermo: Comprende, aproximadamente el 83% del peso seco del grano, tiene un alto contenido de almidón y es considerado el segundo tejido de reserva del grano. El endospermo se ha clasificado en dos tipos: vítreo y harinoso (Reyes, 1990). El endospermo harinoso, es de consistencia suave y de apariencia opaca. Se caracteriza por células longitudinales, gránulos de almidón largos y redondos, arreglados holgadamente, con una matriz proteica delgada, que se rompe durante el secado y forma espacios vacíos; representa el 34 % del peso del endospermo.

El endospermo vítreo, es de consistencia dura y de apariencia traslúcida. Se caracteriza porque sus granos de almidón, están incrustados en una matriz proteica gruesa, lo que origina que estos gránulos formen superficies angulares, características de este arreglo, representa el 66 % del peso del endospermo y

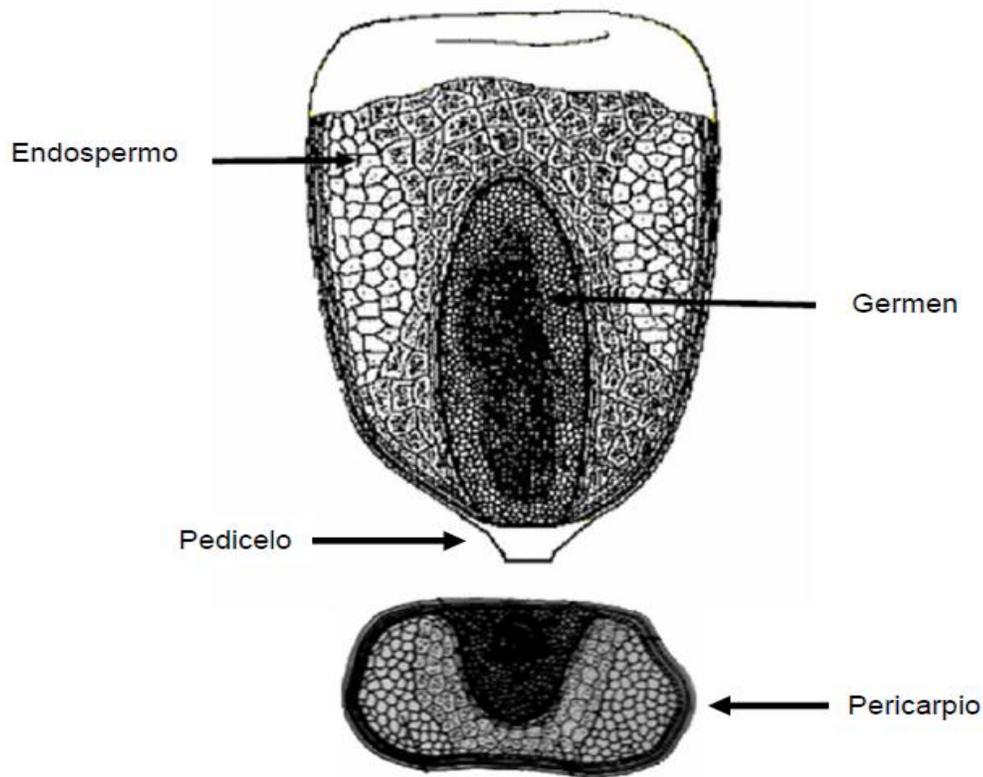


Figura 4. Estructura del grano de maíz. **Fuente:** Hosenev, 1991.

su contenido de proteínas varía del 1.5 a 2 %, más que en el endospermo harinoso. La relación endospermo vítreo: harinoso, varía considerablemente, de acuerdo a la variedad, pero aproximadamente la relación es de 2:1 (Inglett, 1970).

Pericarpio: Es una cubierta, compuesta por una capa externa de células muertas, huecas, alargadas y empaquetadas dentro de un tejido muy denso. Debajo de esta capa se encuentra un tejido esponjoso de células cruzadas y tubulares, unidas o conectadas con la punta y cuya función es absorber agua (Paredes-López *et al.*, 2006).

Pedicelo. Es la continuación del pericarpio y permite la unión del grano con el olate, está compuesto de células en forma de estrellas, arregladas en una

estructura esponjosa, bien adaptada para una rápida absorción de humedad (Paredes-López *et al.*, 2006).

La mayoría de los maíces, son típicamente de grano harinoso. El endospermo es de una textura suave. Existen diferentes variedades de maíz, clasificados por su color, entre los que se encuentra el maíz de color azul, los compuestos coloridos se encuentran en la capa de células llamada aleurona, donde se concentra un mayor contenido de pigmentos antociánicos (Beltrán *et al.*, 2001).

2.9.2. Composición química del maíz azul.

La composición química, del grano de maíz, se ve afectada por el genotipo (variedad), medio ambiente y condiciones de cultivo. Esta característica es de suma importancia para determinar su posible aplicación en la industria de los alimentos. El maíz azul, posee algunas características nutricionales, muy interesantes, destacando una menor cantidad de almidón, con un índice glucémico menor al maíz normal y un contenido proteico superior en un 20% al maíz blanco (Méndez *et al.*, 2005).

En México, se cultivan variedades criollas de maíz azul. Entre las más importantes, se encuentran tabloncillo y chalqueño, en la Tabla 5 se describe la composición química de estas variedades (Agama, 2011).

El maíz azul es una fuente importante de carbohidratos. Los azúcares constituyen aproximadamente el 2% del peso total del grano y cerca del 65% de los azúcares del grano, se encuentran en el germen. Contiene fructosa, glucosa, sacarosa, maltosa, rafinosa y algunos polisacáridos.

Los carbohidratos complejos, representan alrededor del 80% del peso del grano. Los polisacáridos más importantes en el maíz azul, son los estructurales y los de reserva. Los de tipo estructural, se encuentran en las paredes del grano y son celulosa, hemicelulosa y lignina. El polisacárido de reserva es el almidón y se encuentra en el endospermo. El almidón del maíz contiene un 75% de amilopectina y 25% de Amilosa. Sin embargo, esta proporción está determinada genéticamente y puede cambiar de semilla a semilla.

En promedio, el contenido de proteína del maíz, es de aproximadamente 10% y una buena parte, se encuentra en el germen del grano. No obstante, el endospermo, como el pedicelo, llegan a tener hasta un 9% de proteína. Las proteínas, se han clasificado en cuatro tipos de acuerdo a su solubilidad, en albúminas (solubles en agua), globulinas (solubles en soluciones salinas), prolaminas (solubles en soluciones alcohólicas) y glutelinas (solubles en soluciones alcalinas o ácidas, diluidas).

Tabla 5. Composición química del maíz azul de las variedades tabloncillo y chalqueño.

Componente	Tabloncillo	Chalqueño
Humedad (%)	8.58 ± 0.31	8.29 ± 0.17
Cenizas (%)	1.63 ± 0.01	1.52 ± 0.03
Lípidos (%)	5.36 ± 0.04	4.91 ± 0.02
Proteínas (%)	9.04 ± 0.23	9.04 ± 0.12
Almidón (%)	78.5 ± 0.95	82.9 ± 0.86

Fuente: Agama (2011).

En el maíz, las prolaminas, se encuentran principalmente en el endospermo y han recibido el nombre de zeínas, mientras que las glutelinas, se encuentran en la matriz proteínica de esta misma estructura. Ambas proteínas, constituyen cerca del 90% del total, de las proteínas presentes en el grano. Las albúminas y globulinas se encuentran en menor proporción en el endospermo, pero estas proteínas predominan en el germen (Paredes-López *et al.*, 2006).

Los lípidos representan el 5 % de maíz azul. Se encuentran en mayor proporción en el germen, conteniendo el 84 % de los lípidos del grano y el 16% restante se encuentra en el endospermo. La mayoría de los lípidos son triglicéridos y están compuestos por ácido linoleico (50 %), oleico (35 %), palmítico (13 %), esteárico (2 %). Los lípidos del maíz azul, son estables,

porque contienen niveles elevados de antioxidantes naturales como los carotenoides. Por lo tanto, el maíz azul es una excelente fuente de ácidos grasos y genera aceites de buena calidad. La fibra dietaria en el maíz azul, como en todas las variedades de maíz, se encuentra mayoritariamente en el pericarpio y en las paredes celulares del endospermo. Ciertos factores como la genética, el clima y la altura, afecta el contenido de fibra.

2.9.2.1. Propiedades antioxidantes del maíz azul

El consumo de maíz azul, está asociado directamente con beneficios a la salud, debido a la presencia de compuestos antioxidantes, los cuales, retrasan el daño causado por RL (Kraft, 2008). El maíz azul contiene compuestos fenólicos y carotenoides. Los fenoles son compuestos que poseen anillos aromáticos, con grupos sustituyentes hidroxilo, ester, glucosido, etc. Son metabolitos secundarios, que contribuyen al aroma y al sabor de los alimentos (Su y Chien, 2007). El maíz azul, es una fuente importante de antocianinas, con potenciales aplicaciones antioxidantes (Timberlake, 2008). Las antocianinas del maíz azul, ya han sido caracterizadas. El perfil de antocianinas presenta diez antocianinas diferentes, de tipos aciladas y no aciladas. Las antocianinas más importantes son cianidina-3-glucosido, pelargonidina-3-glucosido y peonidina-3- glucósido (Styles y Ceska, 1972).

2.10. Naranja (*Citrus Sinnensis L.*)

Los naranjos pertenecen al grupo de las fanerogamas, a la familia de los Auranciáceos, y la especie es *Citrus sinensis*. En la familia de los auranciáceos, están comprendidos árboles y arbustos, además, todos se caracterizan porque secretan un aroma agradable al olfato. Esta familia comprende, aproximadamente, 750 especies, distribuidas en zonas cálidas y regiones tropicales. El naranjo es una planta subtropical, la altura que puede alcanzar, oscila entre 6 y 9 m. Las hojas verdes son de forma ovalada, dura, lustrosa y aromática. Las flores son muy aromáticas, con una corola de cinco pétalos y son conocidas, como flores de azahar y su fruto es la naranja. El color típico de las naranjas, se debe a una mezcla compleja de carotenoides, que están en el

flavedo y en la pulpa (Yúfera, 1998), aproximadamente se han encontrado 115 carotenoides diferentes en los cítricos, incluyendo una gran cantidad de isómeros (Goodner *et al.*, 2001).

En México, la naranja, es de gran importancia, debido a la gran demanda que tiene como producto fresco y como materia prima, independientemente de su demanda, la importancia de este cítrico, radica en el aspecto nutritivo. La naranja es rica en vitamina C, sin embargo, su jugo solo contiene de 20 a 30 % de la vitamina C, que se encuentra en el fruto (Fox y Camerón, 2002). Sin embargo, a la vitamina C, se le ha atribuido un papel como posible agente inhibidor del cáncer, impidiendo la formación de agentes cancerígenos a partir de compuestos precursores (Mazza, 2000). Otro aspecto importante, es el efecto antioxidante. Los flavonoides son compuestos polifenólicos con actividad antioxidante, los cuales tienen propiedades anticancerígenas y reducen también el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Simó *et al.*, 2002).

Otro aspecto nutricional importante, es el referente a su contenido en fibra, entre los efectos benéficos asociados con la fibra, se encuentran el mejoramiento de tolerancia a la glucosa en pacientes diabéticos, ya que ésta incrementa el bolo fecal, impidiendo la absorción de sustancias como el colesterol (Franco *et al.*, 2001).

2.10.1 Morfología del fruto de naranja.

En la Figura 5, se muestra una representación esquemática del corte transversal de un cítrico. Las partes más importantes del fruto se describen a continuación:

El **flavedo**: es el tejido exterior, en él abundan vesículas, que contiene lípidos, aceites esenciales y cromoplastos (Yúfera, 1998), estos últimos le confieren a la fruta el color verde, amarillo o naranja (Mazza, 2000).

El **albedo (mesocarpo)**: es un tejido formado por capas esponjosas de células de color blanco, el cual es rico en pectina (Mazza, 2000) y constituye la mayor parte de la corteza. El mismo tejido forma el corazón o eje central del fruto y

ambos contienen los vasos, que proporcionan al fruto el agua y los materiales nutritivos (Yúfera, 1998).

El **endocarpo**: es la parte comestible de los cítricos y está formado por los carpelos o gajos, separados por las membranas intercarpelares, los cuales están compuestos por “vesículas” que contienen jugo (Yúfera, 1998).

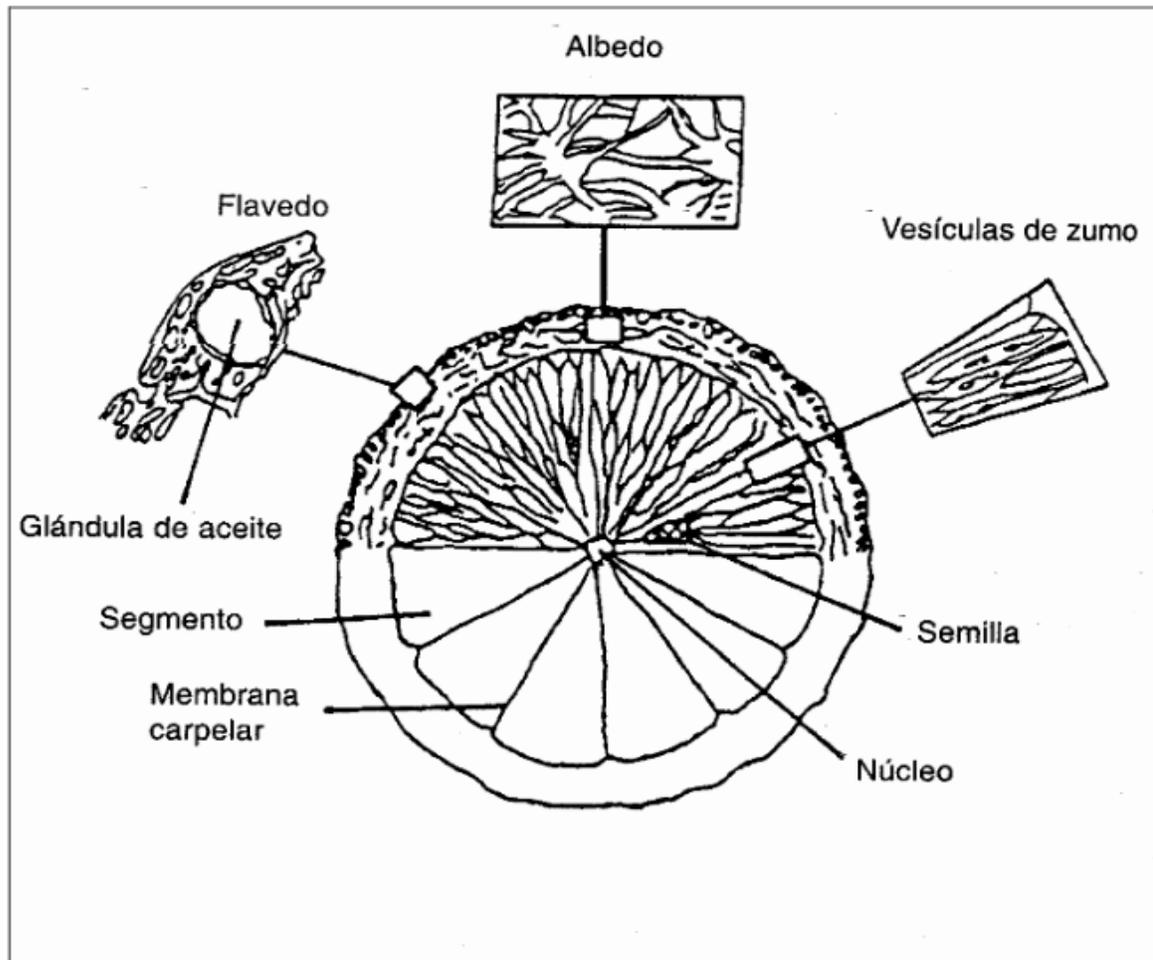


Figura 5. Representación esquemática de un corte del fruto de un cítrico. Fuente: Mazza, 2000.

2.10.2. Producción de naranja a nivel nacional

La naranja en México, es considerada como la fruta más importante, tanto por la superficie cultivada, así como por el volumen, el valor de la producción y el

consumo *per cápita* de la misma. La naranja ocupa la tercera parte de la superficie sembrada y del volumen producido en el sector frutícola nacional. En el año 2014 (Tabla 6), se produjeron 4,533,427.86 Ton, los principales estados productores de naranja son: Veracruz 51.91%, Tamaulipas 13.16%, San Luis Potosí 9.09%, Nuevo León 6.73%, Puebla 4.91%, Sonora 3.05% y Yucatán 3.34%, en la Tabla 6, se presenta la producción nacional en toneladas (SAGARPA, 2014).

Tabla 6. Producción nacional anual en toneladas de naranja México

Estado	Producción (toneladas)
Veracruz	2, 353,669.60
Tamaulipas	596,890.56
San Luis Potosí	412,193.29
Nuevo León	305,284.00
Puebla	222,656.09
Sonora	138,712.71
Yucatán	151,548.48

Fuente: Ciclo: cíclicos y perennes 2014, modalidad: riego + temporal. Datos obtenidos del SIAP (2014).

2.10.3. Composición química de la naranja

Los cítricos (naranja, entre otros), son ricos en vitamina C, particularmente en la capa blanca o albedo, que se encuentra debajo de la cáscara. El jugo de naranja solo contiene de 20 a 30 % de la vitamina C que se encuentra en la fruta (Fox y Camerón, 2002).

Se ha demostrado que la vitamina C es necesaria para la formación de proteína conectiva intercelular(colágeno). Deficiencias en vitamina C, trae como

consecuencia, que las células del cuerpo que tienen la función de formación de los huesos y del esmalte de los dientes, pierden su actividad (Fox y Camerón, 2002).

La naranja contiene una amplia gama de compuestos, entre los cuales se pueden mencionar: volátiles (saborizantes), azúcares, enzimas, ácidos, proteínas, grasas, pigmentos y vitaminas. En la Tabla 7, se muestra el contenido de nutrientes (Fox y Camerón, 2002).

2.10.4 Bagazo de naranja

La naranja, es el principal cítrico procesado (80%), seguido de la toronja (9%), el limón (6%) y la mandarina (5%). Cuando los cítricos se procesan para obtener jugos, queda entre el 45 y el 60% como residuos, que esta conformado por cáscaras, hollejos y semillas. En la actualidad, este subproducto se destina para dietas de animales como cerdos y rumiantes (Pérez *et al*, 1988).

Tabla 7. Contenido de nutrientes y energía del fruto de naranja (100g de producto).

Micronutrientes		Vitaminas		Minerales	
Proteína bruta	0.9g	A	150 U.I	Ca	40mg
Carbohidratos simples	9g	Tiamina	0.1mg	P	20mg
Grasas	0.1g	Riboflavina	0.04mg	Fe	0.3mg
Fibra bruta	0.5g	Niacina	0.4g	Na	2mg
Energía	35Kcal	B6	0.05g	K	200mg
Agua	86g	Ácido ascórbico	50mg	Cenizas	0.6g

Fuente: Fox y Camerón, 2002.

Se ha encontrado que estos residuos poseen una alta concentración de fibra dietética soluble (FDS), la cual es fácilmente digerida por la microflora colónica de los humanos (Ku *et al.*, 1993). El papel de la fibra dietética en la nutrición y la salud ha sido bien establecido, ya que, promueve efectos fisiológicos benéficos,

tales como laxante, disminución de colesterol y de glucosa en sangre (Proxy, 2001), así como su influencia para controlar el peso corporal y reducir los riesgos de desarrollar enfermedades crónicas no trasmisibles, tales como diabetes tipo II y cardiovasculares (Trallero, 2002).

Debido al alto contenido de fibra dietaria y de pectina en los residuos de naranja, Jiménez-Vera *et al.* (2010), elaboraron mermeladas, jaleas, panes y hot cakes, dando un uso a este residuo, sin embargo, es importante y queda pendiente la evaluación de sus efectos en el organismo humano, antes de ser empleada como aditivo alimentario, en la Tabla 8, se muestra la composición fisicoquímica de la harina y pectina de naranja.

Tabla 8. Composición fisicoquímica de harina y pectina de naranja.

Determinación	Harina (%)	Pectina (%)
pH	4.29 ± 0.15	2.84 ±0.14
Humedad	8.73 ± 0.11	14.53 ±1.58
Cenizas	3.33 ±0.74	2.27 ±0.29
Proteína cruda	5.63 ±0.14	0.52 ±0.18
Extracto etéreo	0.59 ±0.08	0.20 ±0.19
Fibra cruda	11.27 ±0.10	0.93 ±0.78
Extracto libre de nitrógeno	79.18	96.08
Fibra dietética total	39.52 ±2.08	17.20 ±2.19
Fibra dietética soluble	20.05	14.62
Fibra dietética insoluble	19.02 ± 1.34	2.58 ±3.50

Fuente: Jiménez-Vera *et al.*, 2010.

Las frutas y jugos cítricos, son la fuente más importante de compuestos bioactivos, en los que se incluyen antioxidantes tales como ácido ascórbico, flavonoides, compuestos fenólicos (Fernandez-López *et al.*, 2005; Jayaprakasha y Patil, 2007; Ebrahimzadeh *et al.*, 2004). Las flavanonas, las flavonas y los flavonoles, son tres tipos de flavonoides que se encuentran en los

cítricos (Calabro *et al.*, 2004). Los principales flavonoides encontrados en especies de cítricos son hesperidina, narirutina, naringina y eriocitrina (Moulay *et al.*, 1994; Schieber *et al.*, 2001). En estudios epidemiológicos de dietas, con frutas cítricas, los flavonoides han mostrado mejoras en la reducción de riesgo de enfermedades coronarias (Di-Majo *et al.*, 2005; Hertog *et al.*, 1993), efecto anti-cancerígeno y anti-inflamatorio (Stavric, 1993; Elangovan *et al.*, 1994; Martin *et al.*, 2002). El interés en estas clases de compuestos se debe a su actividad farmacológica, como inhibidores de RL (Cotelle *et al.*, 1996).

3. JUSTIFICACIÓN

La prevalencia de sobrepeso y de obesidad, a nivel mundial, afecta a personas de todas las edades y es una de las principales causas de desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles, como diabetes tipo II y cardiovasculares, con una repercusión económica importante, en las personas que la padecen. México, ocupa el primer lugar de obesidad a nivel mundial, convirtiéndose esta enfermedad en un problema de salud pública, asociada a los malos hábitos alimenticios, es por ello, la necesidad de desarrollar nuevos productos alimenticios, que, en su composición, contengan sustancias que ayuden a regular los niveles de glucosa y de colesterol HDL, en personas con obesidad y diabetes. Reportes científicos han demostrado que compuestos fenólicos presentes en el maíz azul y en los cálices de Jamaica, así como los carotenos y la fibra dietaria que contiene el bagazo de naranja, podrían ayudar en la regulación de los niveles de glucosa y de colesterol, motivo por el cual, el desarrollo de una botana extruida a partir de maíz azul y de bagazo de naranja, en combinación con una bebida a base de cálices de Jamaica, coadyuvarían en el control de sobrepeso, obesidad e hiperglucemia.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la ingesta de una bebida de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), de una botana extrudida a base de maíz azul y de bagazo de naranja y de la combinación de éstas en ratas *Wistar* inducidas a diabetes tipo II.

4.2. Objetivos particulares

1. Obtener y caracterizar una bebida de cálices de jamaica (*Hibiscus Sabdariffa*) y una botana extruida a base de maíz azul y de bagazo de naranja.
2. Inducir a obesidad y a diabetes a ratas macho de la cepa *Wistar*.
3. Determinar el efecto de la ingesta de una bebida de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) sobre los niveles de glucosa, de triglicéridos, de colesterol LDL y HDL, en sangre de ratas *Wistar* inducidas a diabetes tipo II.
4. Determinar el efecto de la ingesta de una botana extrudida a base de maíz azul y de bagazo de naranja sobre los niveles de glucosa, de triglicéridos, de colesterol LDL y HDL, en sangre de ratas *Wistar* inducidas a diabetes tipo II.
5. Determinar el efecto de la ingesta de la combinación de la bebida de cálices de jamaica (*Hibiscus Sabdariffa*) y de la botana extrudida a base de maíz azul y de bagazo de naranja, sobre los niveles de glucosa, de triglicéridos, de colesterol LDL y HDL, en sangre de ratas *Wistar* inducidas a diabetes tipo II.
6. Evaluar el daño histopatológico ocasionado en los roedores alimentados con los tratamientos experimentales.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles como obesidad y diabetes mellitus tipo II en México, se ha incrementado de manera significativa, afectando tanto a adultos como a niños, lo cual a ocasionado un incremento en el gasto para controlar dichos padecimientos, incrementado el gasto de medicamentos, asociados con el manejo de estos padecimientos, por lo que uno de los tratamientos económicamente viable, que coadyuve en el manejo de dichos padecimientos es el desarrollo de alimentos que contribuyan a la prevención y control de la obesidad y de la diabetes mellitus tipo II.

6. HIPOTESIS

El consumo de una botana extruida elaborada a partir de maíz azul y de bagazo naranja, en combinación con una bebida obtenida de cálices de jamaica, incrementará el contenido de compuestos bioactivos, disminuyendo los niveles de glucosa, de triglicéridos y de colesterol, en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 6, se describe la metodología en un diagrama de flujo, seguida, para el cumplimiento de los objetivos.

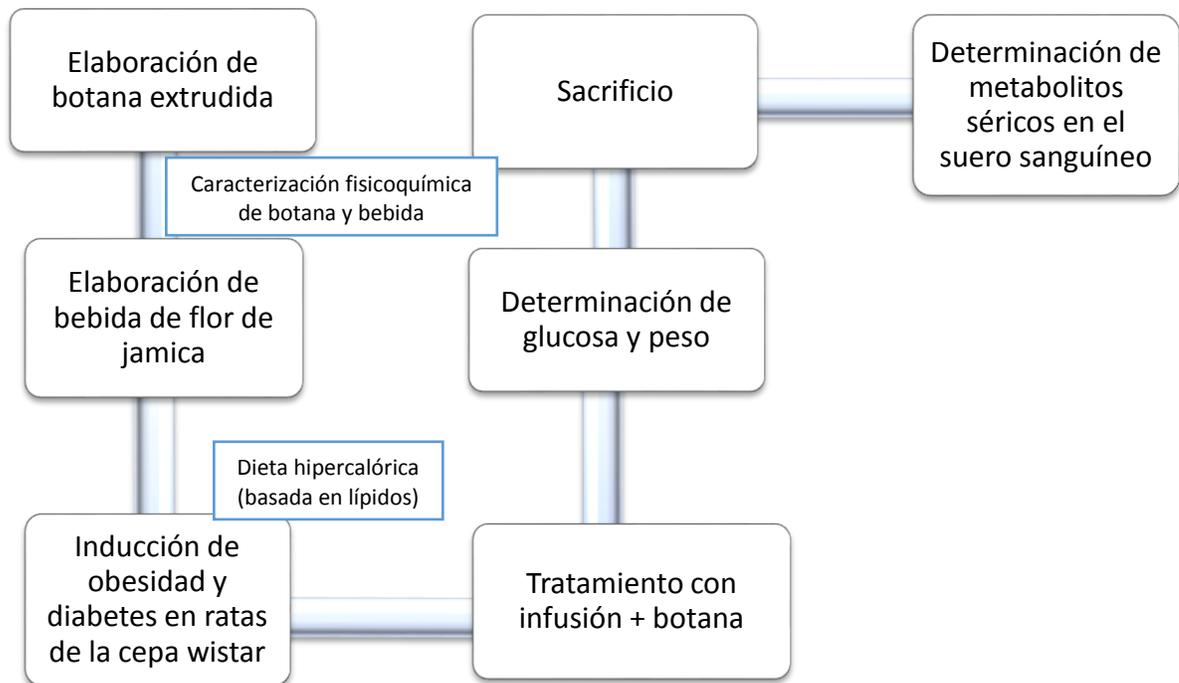


Figura 6. Diagrama de flujo del desarrollo experimental.

7.1 Materiales

Se utilizó maíz azul, variedad *Chalqueño*, obtenido en el mercado local de Actopán, Hidalgo, México, Naranjas, variedad Valencia, obtenidas en la central de abastos de Pachuca de Soto, Hidalgo, México. Y cálices de jamaica,

variedad Criolla, los cuales se obtuvieron de un cultivo de Tierra Colorada, Municipio de Juan R. Escudero, Guerrero, México. Los animales de experimentación utilizados, fueron ratas macho, de la Cepa Wistar, obtenidos del bioterio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

7.2 Obtención de las harinas

7.2.1 Harina de bagazo de naranja

Para la obtención de la harina de bagazo de naranja, las naranjas se lavaron con agua corriente, posteriormente se exprimieron manualmente, para la extracción del jugo, el residuo obtenido conformado por albedo, flavedo y vesículas carpelares, fue cortado manualmente en cuadros de 1 cm², con el objetivo de disminuir el tamaño de partícula. Posteriormente, el bagazo fue deshidratado en una estufa con recirculación de aire a 67 °C por 14 h (Themolyne 9000, USA). El bagazo deshidratado se molió en una licuadora (OSTER MBPST02-B00-013) y tamizó, hasta obtener un tamaño de partícula de 120 µm, la harina se almacenó en bolsas de polietileno hasta su posterior uso (Navarro *et al.*, 2013).

7.2.2 Harina de maíz azul

La harina de maíz azul, se obtuvo mediante molienda seca, en un molino de martillos, una vez obtenida la harina, se almacenó en bolsas de polietileno hasta su uso (Navarro *et al.*, 2013).

7.2.3 Obtención de la botana extruida

El producto extrudido, se obtuvo, mezclando harina de maíz azul y de bagazo de naranja, en una relación 90:10 p/p, la mezcla se acondicionó a una humedad de 14.61 % y se alimentó a un extrusor de laboratorio de un solo tornillo (CW Brabender Instrument, INC, NJ, EUA). El barril del extrusor estaba dividido en dos zonas de calentamiento por resistencias eléctricas. Las temperaturas utilizadas en el barril del extrusor fueron: 80 y 120 °C, la temperatura del dado de salida, fue de 170 °C, con una velocidad de tornillo de 170 rpm y una

velocidad de alimentación de 30 g/min. El tornillo utilizado tenía una relación de compresión 3:1.

7.3 Caracterización fisicoquímica de las harinas y producto extrudido.

7.3.1 Análisis químico proximal.

El análisis químico proximal, se realizó en la harina de maíz azul, en la harina de bagazo de naranja y en la mezcla de estas, así como en el extrudido, de acuerdo a los métodos oficiales de la AOAC (1999), para los cuales se determinó; humedad (925.09), cenizas (923.03), grasas (923.05), proteína (979.09), fibra cruda y el contenido de carbohidratos, se calculó por diferencia del resto de los componentes.

7.4 Elaboración de la bebida de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*)

La bebida de jamaica se obtuvo de los cálices deshidratados; para lo cual se elaboró un extracto al 6%, añadiendo 30 g de jamaica en 500 mL de agua purificada, se llevó a ebulición durante 15 min, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró; para la elaboración de la bebida se tomaron 166.66 mL de extracto y se aforaron a 500 mL con agua purificada; se añadió ácido cítrico (0.3g), sorbato de potasio (0.1g), citrato de sodio (0.2g), como conservadores y azúcar (125g) y sucralosa (0.025g) como edulcorantes, finalmente se sometió a pasteurización a 64 °C/5 min, para su posterior uso.

7.5. Cuantificación de fenoles totales, antocianinas monoméricas totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante por DPPH y ABTS, de las botanas, extrudida y comercial, de la bebida de jamaica (*Hibiscuss sabdariffa*) y de la bebida comercial.

Todos los análisis se realizarán por triplicado.

a) Bebida de jamaica y bebida comercial

Las bebidas fueron utilizadas directamente.

b) Harina de maíz azul, harina de bagazo de naranja, mezcla de harina de maíz azul-bagazo de naranja, botana extrudida y botana comercial.

Para la caracterización de las harinas y de las botanas, se obtuvieron extractos de cada una de las muestras, con un tamaño de partícula de tamiz malla No. 120, posteriormente se eliminó el excedente de grasa, por el método de Soxhlet, de las harinas de maíz azul, de bagazo de naranja, de la mezcla de maíz azul y de bagazo de naranja, así como de las dos botanas. Se pesó 0.1 g de cada una de las harinas en tubos Eppendorf, se añadió 1 mL de etanol al 40 % y se centrifugo en una microcentrifuga (MiniSpin plus, Eppendorf, Alemania) a 12000 rpm/12 min, realizando 3 lavados para cada una de las harinas, el sobrenadante obtenido se aforó a 10 mL con el mismo disolvente.

7.5.1. Cuantificación de fenoles totales

Se preparó una curva de calibración con Ácido Gálico, en el intervalo de concentración de 0 a 100 ppm. En tubos Eppendorf, se colocaron 250 µL de cada una de las muestras, 625 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu al 10 %, se agitó y se dejó reposar por 3 min, por último, se adicionaron 500 µL de Na₂CO₃ al 7.5 %. Se agitaron los tubos y se dejaron reposar por 2 h, transcurrido este tiempo se midió la absorbancia a 760 nm, en el espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific), aplicando la correspondiente regresión lineal con la curva de calibración de Ác. Gálico, se determinaron las concentraciones en cada extracto, reportando el contenido en mg equivalentes de Ác. Gálico por 100 g de cáliz deshidratado (mg EAG/100 g cd) (Vargas-León *et al.*, 2017).

7.5.2 Determinación de antocianinas monoméricas totales

La determinación de antocianinas monoméricas totales, se basa en las transformaciones estructurales que sufren las antocianinas monoméricas, con un cambio en el pH; estos compuestos adquieren la conformación del catión

flavilo (color rojo intenso) a pH 1 y la forma hemiacetal (incolora) a pH 4.5. En tubos Eppendorf, se colocó 1 mL de solución con pH 1 y en otro tubo, 1 mL de solución buffer pH 4.5. Posteriormente, se añadieron 500 µL de extracto, de las diferentes muestras, a cada tubo y se agitaron. A cada solución se le midió la absorbancia a 520 nm (longitud de onda de máxima absorbancia de las antocianinas) y a 700 nm, en el espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific), usando como blanco la solución correspondiente. La absorbancia final se calculó con la siguiente ecuación:

$$A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}1.0} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}4.5}$$

El valor de la absorbancia calculada, se sustituyó en la siguiente ecuación, para obtener la concentración de antocianinas monoméricas totales:

$$\text{Antocianinas monoméricas (mg/L)} = \frac{A * PM * FD * 1000}{\epsilon * l}$$

Donde PM y ϵ , corresponden al peso molecular y la absortividad molar de la antocianina que predomina en la muestra y FD es el factor de dilución (volumen total/volumen de extracto). Dado que una de las antocianinas predominantes en *H. sabdariffa*, es la cianidina-3-glucósido, se utilizaron como datos, su peso y absortividad molar (PM: 449.2 g/mol y ϵ : 26,900). El resultado obtenido se expresó como miligramos equivalentes de cianidina-3-glucósido en 100 g de muestra (mgC-3GE/100 g) (Vargas-León *et al.*, 2017).

7.5.3. Determinación de flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales, se determinó utilizando dos ensayos de formación de complejos de aluminio, reportados por Pekal y Pyrzyńska (2014). El primer ensayo consistió en la reacción de 1000 µL de extracto con 125 µL de cloruro de aluminio (AlCl₃) al 10 %, utilizando una curva de 0 a 25 ppm de Quercetina, midiendo la absorbancia a 425 nm, los resultados fueron expresados como mg equivalentes de Quercetina/100 g de cáliz deshidratado (mg EQ/100 g cd). El segundo ensayo, consistió en la reacción de 1000 µL de extracto, en presencia de 125 µL nitrito de sodio (NaNO₂) al 5 %, con 125 µL de

AlCl_3 , en medio alcalino (200 μL de NaOH 1 M), se midió su absorbancia a 510 nm, se utilizó una curva de 0 a 50 ppm de Catequina, los resultados se reportaron en mg equivalentes de Catequina/100 g de cd (mg EC/100 g cd). El contenido de flavonoides totales, se reportó como la suma de las concentraciones de los dos ensayos (mg T/100 g cd).

7.5.4. Determinación de la capacidad antioxidante por el método de DPPH.

Esta determinación se realizó por el método descrito por Brand-Williams *et al.* (1995), con las modificaciones descritas por Kim *et al.* (2002), el método se basa en la reducción de la absorbancia del radical DPPH• a 510 nm por compuestos antioxidantes. Se preparó una solución de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) 100 μM , disuelto en metanol puro, se ajustó la absorbancia a 0.70 ± 0.03 unidades a una longitud de onda de 510 nm. Se utilizó una curva patrón de ácido ascórbico, de 0 a 200 ppm. En tubos Eppendorf se colocaron 50 μL de los diferentes extractos a analizar y 1.1 mL del DPPH, se dejaron reposar por media hora y se midió la absorbancia a 510 nm en el espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific). Con la correspondiente regresión lineal se determinó la capacidad de los extractos para disminuir la absorbancia del radical, reportando los resultados en mg equivalentes de Ácido ascórbico/g de muestra (mg EÁc.A/g de muestra).

7.5.5. Determinación de la capacidad antioxidante por el método de ABTS

Se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Re *et al.* (1999), de acuerdo a las modificaciones realizadas por Vargas-León *et al.* (2017). Para ello, se preparó una solución stock de ABTS, el radical ABTS•+ se obtuvo tras la reacción del ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulphonico) (ABTS) (7 mM) con persulfato potásico (2.45 mM, concentración final), incubados a temperatura ambiente (± 25 °C) en oscuridad, durante 16 h. Una vez formado el radical ABTS•+, se diluyó con etanol, hasta obtener un valor de absorbancia de 0.70 ± 0.03 unidades a 735 nm (longitud de onda de máxima absorción). Se

utilizó una curva de Trolox, como antioxidante de referencia, de 0 a 200 ppm. En tubos Eppendorf, se colocaron 50 µL de los extractos y 1.1 mL del ABTS, previamente formado, se dejaron reposar por media hora y se midió la absorbancia a 735 nm en el espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Fisher Scientific). Con la correspondiente regresión lineal, se determinó la capacidad de los extractos para abatir al radical, reportando los resultados en mg equivalentes de Trolox/g de cd (mg ET/g cd).

7.6 Evaluación *in vivo* del efecto del consumo de la bebida y del extrudido.

7.6.1 Comité de ética.

El protocolo fue evaluado y aprobado por el comité de ética del bioterio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, CIEQUAL (Comité Institucional Ético para el Cuidado y Uso de los Animales de Laboratorio).

7.6.2. Grupos experimentales.

Se utilizaron ratas machos, de la cepa Wistar, con un peso aproximado de 160 ± 10 g, proporcionadas por el Bioterio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Se mantuvieron en condiciones controladas de temperatura ambiente de 23 °C, acondicionadas en ciclo invertido, con ciclos de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. Todos los animales tuvieron acceso *ad libitum* a agua y/o bebida, alimento y dosis de botana extrudida, de acuerdo a las dosis de fibra recomendada por la ADA (Asociación Americana de Diabetes) (Rubino *et al.*, 2005).

Los animales se organizaron en nueve grupos, como se muestra en la Tabla 9, cada grupo estuvo conformado por seis animales (n=6). Para la etapa de inducción a obesidad, se seleccionaron ocho de los nueve grupos, la inducción a obesidad se realizó durante cuatro semanas, con una dieta hipercalórica, basada en lípidos (manteca de cerdo), en las siguientes proporciones: lípidos 23.98 %, proteína 18.22 %, carbohidratos 54.99 %, vitaminas y minerales 2.81 %, posteriormente, ocho grupos, fueron inducidos a diabetes con

estreptozotocina, de manera intraperitoneal, aplicando 35 mg/kg, de acuerdo a lo reportado con Peng, *et al.*, (2011). La fase experimental de los tratamientos, con las botanas y las bebidas, se realizó durante cuatro semanas, cada una de las ratas fue pesada una vez por semana, para evaluar la ganancia o pérdida de peso y se determinó el contenido de glucosa en sangre, con un glucómetro de la marca Roche, modelo Accutrend Plus, fabricado en Alemania, para realizar análisis sobre índice glicémico.

Tabla 9. Grupos experimentales.

GRUPO	DESCRIPCIÓN
Control © (CC)	Control con dieta estándar
CP	Control positivo (dieta hipercalórica + fármaco “glibenclamida”)
CN	Control negativo (dieta hipercalórica)
EX	Dieta hipercalórica + extrudido
BC	Dieta hipercalórica + botana comercial
BeN	Dieta hipercalórica + bebida de extracto natural
BeC	Dieta hipercalórica + bebida comercial
EX:BeN	Dieta hipercalórica + extrudido + bebida de extracto natural
BC:BeC	Dieta hipercalórica + botana y bebida comercial

7.6.3 Determinación de glucosa

Para determinar los niveles de glucosa en sangre, se utilizó un glucómetro Accutrend de Roche, para lo cual, las muestras de sangre de los diferentes animales de experimentación, se obtuvieron realizando una incisión en la cola. Los resultados se expresaron en mg/dL (Utrilla *et al.*, 2013). Las determinaciones se realizaron semanalmente y al final de la fase experimental en todos los grupos de estudio.

7.6.4 Obtención del suero sanguíneo

Después de las cuatro semanas, en las que los animales, fueron alimentados con las bebidas y las botanas, se sacrificaron por punción cardiaca, previa anestesia con CO₂, utilizando una cabina de eutanasia. La sangre recolectada fue depositada en tubos vacutainer con gel separador de plasma, se centrifugaron a 2500 rpm por 15 min, en una centrífuga clínica, para obtener el suero (Morales *et al.*, 1999). El suero fue almacenado en tubos Eppendorf a -20 °C, para posteriores análisis.

7.6.5 Determinación de metabolitos séricos en el suero sanguíneo.

Se determinó glucosa, colesterol total, triglicéridos y colesterol-HDL, en los diferentes grupos experimentales, utilizando Kits de reactivos de la marca Spinreact, siguiendo las instrucciones del fabricante.

7.6.6 Análisis histopatológicos en órganos blanco.

Una vez sacrificados los animales, se realizó una disección para obtener los órganos que posiblemente hayan sufrido algún daño durante el desarrollo del trabajo experimental, los órganos extraídos fueron: páncreas, hígado y riñón, los cuales fueron almacenados en formol, para análisis histopatológicos.

Después de obtener los órganos, se fijaron en formol al 10%, durante 48 h, posteriormente se prosiguió a la inclusión. Los tejidos fijados adquieren cierta consistencia y dureza, pero no la suficiente para que, de ellos, se obtengan secciones delgadas. Estas secciones, del orden de algunas milésimas de milímetro (5 a 10 µm), se consiguen cuando los tejidos son infiltrados con sustancias denominadas “de inclusión” y adquieren tal dureza, que, al ser sometidos al filo de una navaja, producen secciones, cortes o láminas, sumamente delgadas y transparentes (Montalvo-Arenas, 2010).

Para la inclusión, se tomaron cortes de 1 cm², de cada uno de los órganos, lavados con agua corriente, colocando cada muestra en un istocaset, se introdujeron en un procesador automático de tejidos (Leica, TP1020, E.U.A) con etanol al 100, 90 y 75%, xileno y parafina, durante 16 h. Posteriormente se

extrajeran para la formación de bloques de parafina, los cuales, se formaron con moldes de acero inoxidable, colocando parafina líquida y sumergiendo cada una de las muestras, hasta la solidificación de cada bloque.

Una vez obtenidos los bloques, se realizaron cortes de 4 μm con un micrótomo (Leica, RM2125RT, E.U.A), cada corte fue extendido y adherido en un portaobjetos. Los cortes se extienden al depositarlos sobre la superficie del líquido extendedor, contenido en un recipiente denominado “baño de flotación” (éste mantiene la temperatura entre 40 y 45 °C). Las secciones se depositan en el líquido, procurando que la superficie brillante (aquella correspondiente al filo de la navaja), se ponga en contacto con el líquido caliente. Posteriormente se realizó la tinción hematoxilina-eosina, para realizar el montaje, este procedimiento consistió en colocar encima del corte coloreado, una gota de resina natural, encima de la laminilla cubreobjetos, cuidando que no hubiese formación de burbujas entre la resina. Después de 24 a 48 h, las laminillas fueron observadas a nivel microscópico, tomando fotos a 400X y 100X de cada tejido.

8. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Estudios epidemiológicos y clínicos, han demostrado la relación entre la dieta y el estado de salud. Por lo que, gran parte de las poblaciones en el mundo, han optado por consumir alimentos obtenidos de fuentes vegetales, tales como, plantas, frutas y hortalizas, debido a la evidencia científica, que ha demostrado que pueden disminuir la prevalencia y/o control de algunas enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Block *et al.*, 1992; Shahidi y Ho, 2000; Shahidi y Finley, 2001). Por lo mencionado, en la actualidad, los fabricantes de alimentos y profesionales de la salud, se han enfocado en el estudio de alimentos y de bebidas, que además de aportar componentes como proteínas, carbohidratos, lípidos y azúcares, aporten un beneficio a la salud de los consumidores.

8.1. Obtención de las harinas

En la Figura 7, se presentan las harinas de las materias primas, harina de bagazo de naranja (a), con color amarillo, característico de la naranja, debido a la presencia de carotenos, así como un tamaño de partícula menor que la del maíz, la de maíz azul (b), tuvo un color azul-purpura, por su contenido de antocianinas, teniendo una aparecía más almidonosa que la de la harina de naranja.

8.2. Obtención de botana extrudida y adquisición de botana comercial

La botana extrudida se obtuvo de acuerdo a las condiciones de optimización descritas por Navarro-Cortez (2010), utilizando un extrusor de tornillo simple modelo 20 DN (CW Brabender Instrument, INC, NJ, EUA).

En la Figura 8, se muestra la botana extrudida (a), con un color lila pálido, debido a las proporciones de harinas de maíz azul y de bagazo de naranja en la mezcla, así como a las condiciones de procesamiento, ya que al combinarse el maíz con el bagazo, se genera una dilución de las antocianinas, además, antocianinas y β -carotenos, se ven afectados por la temperatura de extrusión,

Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II

disminuyendo la intensidad de color después del proceso, no obstante, tanto antocianinas como compuestos polifenólicos se mantienen presentes, después de ser sometidos al proceso de extrusión.



Figura 7. Harina de bagazo de naranja (a), harina de maíz azul (b).

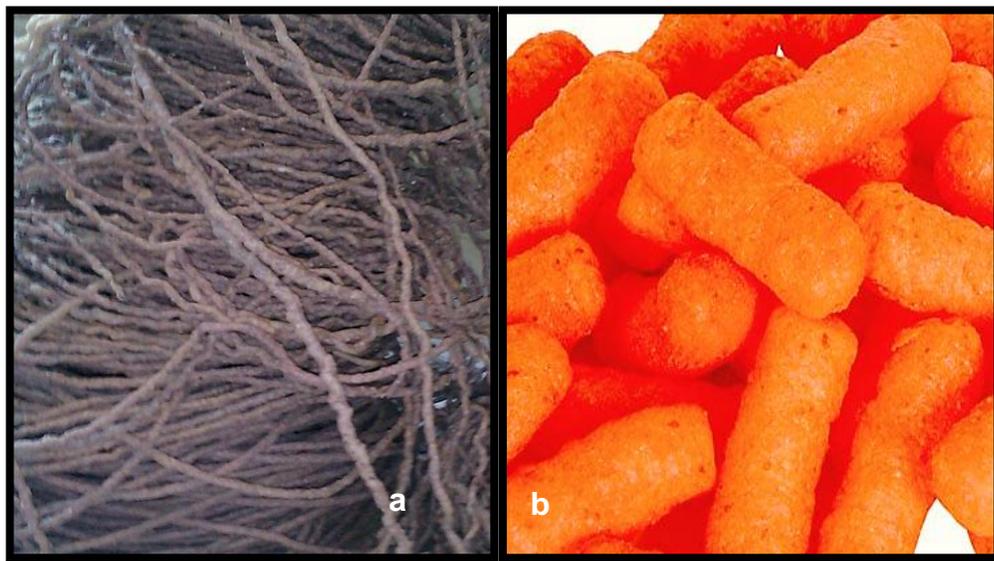


Figura 8. Botana extrudida (a), botana comercial (b).

La botana comercial, fue adquirida en un mercado local, del municipio de Zumpango, Estado de México, la cual presentó un color naranja intenso, por su alto contenido de colorantes y saborizantes artificiales (Figura 8b).

8.2.1. Caracterización fisicoquímica de las harinas de maíz azul, del bagazo de naranja, de la botana extrudida y de la comercial.

8.2.1.1. Análisis químico proximal

En la Tabla 10, se muestran los resultados del análisis químico proximal, de las materias primas utilizadas para la elaboración del producto extrudido, se observó que la harina de bagazo de naranja, presentó el mayor contenido en cenizas, lípidos y fibra cruda, esto coincide con lo reportado por Navarro-Cortez *et al.* (2016), quienes evaluaron harina de bagazo de naranja para la elaboración de botanas extrudidas, por otra parte, el contenido de lípidos resulto ser mayor de acuerdo a lo reportado por Jiménez-Vera (2010), quien reportó valores inferiores de 0.59 g/100 g muestra (b.h) en bagazo de naranja, esto puede deberse al grado de madurez del fruto.

Mientras que la harina de maíz azul, presentó mayor contenido de proteína, lo cual coincide con lo reportado por Camacho-Hernández *et al.* (2011) y Navarro-Cortez *et al.* (2016), quienes evaluaron la composición química de la harina de maíz azul, para la elaboración de productos extrudidos tipo botana. Por otro lado, la mezcla de la harina de maíz azul y de bagazo de naranja, mostró una disminución en el contenido de proteína y de cenizas, pero un incremento en el contenido de fibra cruda, lo cual es deseable. Los cambios en el contenido de cenizas, están en función de la cantidad de minerales presentes en las materias primas. La diferencia en el contenido de cenizas entre el bagazo de naranja y el maíz azul, se debe a la composición química y a las proporciones empleadas en la mezcla de las harinas, generando una dilución del contenido de cenizas del bagazo de naranja, predominando el contenido en el maíz azul, ya que, en particular, el grano de maíz posee menor cantidad de minerales; por otra parte, el contenido de fibra se ve aumetando, debido a que la cáscara de naranja está formada por el exocarpo, capa externa de color llamado flavedo y por el mesocarpo, capa interna esponjosa, de color blanco, conocida como albedo, las cuales proporcionan un mayor volumen a la naranja, al contener pectinas y un mayor contenido de fibra (Davies y Abrigó, 1994).

Tabla 10. Análisis químico proximal de harina de bagazo de naranja, maíz azul y de la mezcla de harina de bagazo de naranja y maíz azul (g/100 g muestra bs.).

	BN	MA	BN:MA
Cenizas	3.191 ± 0.065 ^b	1.516 ± 0.055 ^a	1.394 ± 0.033 ^a
Lípidos	6.470 ± 0.144 ^b	6.1751 ± 0.051 ^a	6.159 ± 0.143 ^a
Proteína	6.436 ± 0.082 ^b	9.080 ± 0.054 ^a	8.920 ± 0.198 ^a
Fibra cruda	2.921 ± 0.046 ^b	2.415 ± 0.289 ^a	2.500 ± 0.032 ^a
Carbohidratos	80.976 ± 0.275 ^a	80.811 ± 0.244 ^a	81.024 ± 0.071 ^a

Los resultados son medias ± desviación estándar (n=3). Medias en filas con diferentes letras, presentan diferencias estadísticamente significativas (p < 0.05). BNA: bagazo de naranja amarilla; BNV: bagazo de naranja verde; MA: maíz azul; BN:MA mezcla de bagazo de naranja con maíz azul.

Haciendo una comparación entre la mezcla de harina de bagazo de naranja-maíz azul y la harina de maíz azul, se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas, en cuanto a macronutrientes y micronutrientes.

La Tabla 11, muestra los resultados obtenidos del análisis químico proximal, de la botana extrudida (BE) y de la botana comercial (BC). Comparando la botana comercial respecto a la extrudida, se observa que la botana comercial, presentó 14 veces más lípidos, así como menor contenido en proteína y en fibra cruda. En la BE, el contenido de minerales se incrementó, en comparación al contenido de la mezcla, mientras que el contenido de carbohidratos fue de 86.49 g/100 g de muestra, lo que coincide con lo reportado por Navarro-Cortez *et al.* (2016), quienes reportaron un contenido de carbohidratos de 86.38 g/100 g en la elaboración de botanas extrudidas de maíz azul con endospermo suave y endospermo duro, utilizando diferentes concentraciones de harina de bagazo de naranja, el contenido de fibra y de lípidos, coincide de igual manera con lo reportado por estos autores.

Tabla 11. Análisis químico proximal de la botana extrudida y de la botana comercial a base de maíz (g/100 g muestra bs.).

	BE	BC
Cenizas	3.304 ± 0.030 ^b	1.672 ± 0.052 ^a
Lípidos	1.675 ± 0.078 ^a	23.141 ± 0.147 ^b
Proteína	5.632 ± 0.357 ^b	1.988 ± 1.260 ^a
Fibra cruda	2.892 ± 0.091 ^b	0.9587 ± 0.068 ^a
Carbohidratos	86.494 ± 0.136 ^b	72.238 ± 0.173 ^a

Media ± desviación estándar (n=3). Medias en filas con diferentes letras presentan diferencias estadísticamente significativas (p < 0.05). BNA: bagazo de naranja amarilla; BNV: bagazo de naranja verde; MA: maíz azul; BN:MA mezcla de bagazo de naranja con maíz azul.

8.2.1.2. Perfil fitoquímico (Fenoles totales, flavonoides, fntocianinas totales, capacidad antioxidante).

El contenido de compuestos fenólicos, así como su respectiva capacidad antioxidante de las materias primas y de las botanas extrudida y comercial, se muestra en la Tabla 12, en la cual se puede observar que la harina de bagazo de naranja presentó el mayor contenido de fenoles totales (415.51 EAG/100 g) y de flavonoides (40.101), en comparación con la harina de maíz azul, así como con la mezcla y las botanas extrudida y comercial. La botana extrudida presentó mayor contenido de fenoles totales en comparación con la mezcla antes de ser procesada, Mora-Rochin (2010) y Aguayo-Rojas (2012), reportan valores de 126.3 a 159.1 mg GAE/100 g en harinas de maíz azul, valores inferiores a los cuantificados en la harina de maíz azul utilizada en el presente trabajo. El proceso de extrusión, tiene la capacidad de liberar moléculas de compuestos

ligados a una estructura más compleja. Con respecto a los flavonoides, el bagazo de naranja presentó 18.55 mg Eq Quercetina/100 g y 21.55 mg EqCatequina/100g de muestra, los cuales son superiores a los obtenidos en la harina de maíz azul y en la mezcla de harina de naranja-maíz azul, esto se debe a que la concentración de fenoles y flavonoides, es mayor en la cáscara de los cítricos (17-2.0 % peso seco) (Manthey y Grohmann, 1996; Ghasemi, 2009). La concentración de compuestos fenólicos encontrados en la harina de maíz azul, concuerda con lo reportado por Mora-Rochin (2010) y Aguayo-Rojas (2012), sin embargo, al ser mezclada con la harina de bagazo de naranja, el contenido fue superior a lo reportado en maíz azul, pero inferior al contenido que presentó el bagazo de naranja, estos resultados concuerdan con lo reportado por Stojceska *et al.*, (2008), quienes evaluaron la concentración de compuestos fenólicos en extrudidos elaborados a partir de granos, en combinación con vegetales y encontraron que la concentración de estos compuestos aumentaba tres veces más, del contenido inicial, después de la extrusión, por lo que los resultados obtenidos en el extrudido de maíz azul y de bagazo de naranja concuerdan con lo reportado.

El contenido de antocianinas en la harina de maíz azul y en la mezcla con bagazo de naranja, fue de 11.68 y 4.34 mg/100 g, respectivamente, estos valores concuerdan con lo reportado por Camacho-Hernández *et al* (2011), en harina de maíz azul, utilizada para la elaboración de botanas extrudidas. La presencia de antocianinas en el grano de maíz azul, se concentra en el pericarpio y en la capa de aleurona, partes estructurales, donde se produce la pigmentación (Beltrán *et al.*, 2001).

Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II

Tabla 12. Determinación de flavonoides, fenoles totales, capacidad antioxidante por DPPH y ABTS y antocianinas en harina de bagazo de naranja, harina de maíz azul, mezcla de harina de bagazo de naranja y de maíz azul, botana extrudida de maíz azul y de bagazo de naranja y botana comercial de maíz (g/100g muestra b.s.).

	Maíz azul	Bagazo Naranja	BN-MA	EX	BC
Fenoles totales	91.707±0.029 ^a	415.515±20.029 ^e	203.611±16.73 ^c	264.325±4.222 ^d	142.5±3.149 ^b
Antocianinas	11.68± 0.76 ^c	0 ^a	4.34±1.53 ^c	14.027±0.867 ^b	0 ^a
Flavonoides (quercetina)	3.785±0.834 ^a	18.550±1.22 ^d	7.518±1.204 ^{bc}	10.147±0.745 ^c	5.362±0.946 ^{ab}
Flavonoides (catequina)	7.826±1.17 ^a	21.551±1.740 ^a	7.399±1.312 ^a	13.282±1.454 ^a	125.132±18.51 ^b
DPPH	0.447±0.034 ^b	0.224±0.027 ^a	0.204±0.03 ^a	0.907±0.034 ^c	0.263±0.019 ^a
ABTS	5.018±0.348 ^a	33.065±0.81 ^e	12.609±0.479 ^c	16.231±1.529 ^d	8.667±0.981 ^b

Media ± desviación estándar de tres determinaciones. Medias en filas con diferentes letras presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). (BN-MA: mezcla de maíz azul y bagazo de naranja; Bot-Extrud: botana extrudida de maíz azul y bagazo de naranja; Bot-Com: botana comercial de maíz; flavonoides: expresados en mg Equivalentes de Quercetina/100 g de muestra y mg Equivalentes de Catequina/100 g de muestra; fenoles totales: expresados en Equivalentes de Ácido GALico/100g muestra; DPPH: expresados en mgEÁc.A./g de muestra; ABTS: expresados en μM E.T./g de muestra, Antocianinas: expresadas en mgEC-3-G/100g).

De la Parra *et al.* (2008), cuantificaron el contenido de antocianinas monoméricas totales en maíz azul, reportando 266.2 mg equivalentes de ácido gálico/100 g, siendo la cianidina-3-glucosido, la que se encuentra en mayor proporción.

Respecto a la capacidad antioxidante, determinada por el método DPPH, la harina de maíz azul presentó mayor actividad (0.447 mg EÁc.A./g), en comparación a la harina de bagazo de naranja y a la mezcla, 0.224 y 0.204 mg EÁc.A./g, respectivamente, estos resultados pueden deberse a la estructura química de los compuestos antioxidantes presentes en el maíz azul y en el bagazo de naranja, no obstante, después del proceso de extrusión, la capacidad antioxidante incrementó en un 102.9% (0.907 mg EÁc.A./g botana extrudida), mientras que la botana comercial, presentó una capacidad antioxidante de 0.263 mg EÁc.A./g, 71.01% menor a la botana extrudida. Las diferencias encontradas en estos productos se deben principalmente a la presencia de compuestos polifenólicos, presentes en las materias primas de la botana experimental, así como al proceso de extrusión, el cual tiene la capacidad de liberar compuestos que se encuentran ligados estructuralmente, dejándolos disponibles para la interacción con radicales libres. Por otro lado, el producto que presentó la mayor capacidad antioxidante con el método ABTS, fue el bagazo de naranja (33.065 μ M ET/g), seguido de la botana extrudida (16.231 \pm 1.529 μ M ET/g) y de la mezcla de harina de maíz azul y de bagazo de naranja (12.609 μ M ET/g), antes de ser sometida al proceso de extrusión.

La actividad antioxidante por ambos ensayos (DPPH y ABTs), depende de varios factores, como la estructura de los componentes individuales, la interacción sinérgica entre ellos y las condiciones específicas aplicadas en diferentes ensayos (Huang *et al.*, 2005), la capacidad antioxidante de los cítricos no parece ser una propiedad de un solo compuesto fitoquímico, pero está correlacionada tanto a la vitamina C, como a los constituyentes fenólicos, por tal motivo la botana comercial presento capacidad antioxidante, ya que en su elaboración se utiliza acido ascórbico como conservador.

Las propiedades de los flavonoides representes en los cítricos han sido relacionadas con el mejoramiento de la salud, entre las que incluyen anticancerígenos, antivirales, antiinflamatorios, y capacidad de inhibir la agregación plaquetaria humana (Huet, 1982; Benavente-Garcia *et al.*, 1997). La cáscara y las semillas de de los citricos, en su mayor parte, son inutilizadas, sin embargo, estos subproductos poseen capacidad antioxidante, ya que los flavonoides presentes han mostrado presentar dicha característica (Kroyer, 1986; Larson, 1988; Pratt y Hudson, 1990).

8.3. Obtención de bebida de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y adquisición de bebida comercial

Se presentan fotografías tomadas de los cálices de jamaica utilizados, así como de la bebida obtenida a partir del extracto de jamaica y de la bebida comercial. Los cálices utilizados presentan un color rojo característico (Figura 9), debido a la presencia de antocianinas, mientras que la bebida comercial y la bebida de extracto natural, a simple vista, no difieren en cuanto a color, ya que ambas presentan un color rojo, la bebida de jamaica experimental (Figura 10a) presentó un color intenso, debido a la concentración utilizada y a la presencia de compuestos antocianinicos. La bebida comercial (Figura 10b) posee características visualmente similares a la bebida de extracto natural.



Figura 9. Cálices de jamaica variedad Criolla.



Figura 10. Bebida de extracto natural (a), bebida comercial (b).

8.3.1. Caracterización fisicoquímica

8.3.1.1. Perfil fitoquímico (fenoles totales, flavonoides, antocianinas totales, capacidad antioxidante).

En la Tabla 13, se muestra el contenido de compuestos polifenólicos presentes en la bebida de extracto natural, como en la bebida comercial, donde la bebida de extracto natural presentó mayor concentración de fenoles totales (37.404 mg EAG/100 mL), flavonoides (1.882 mg EQ/100 mL, 10.450 mg EQ/100 mL) y antocianinas (1422.744 mg EC-3-G/100 mL), al igual que mayor capacidad antioxidante por DPPH y ABTS. Sin embargo, en la bebida comercial, también se detectó la presencia de estos compuestos, aunque en menor proporción, fenoles totales (39%), flavonoides (35.67%) y antocianinas (44%) respecto a la bebida del extracto natural. Reyes-Luenga (2015), evaluó la capacidad antioxidante, así como el contenido de fenoles, en diferentes extractos acuosos de jamaica, reportando valores inferiores a los obtenidos en el presente estudio.

Tabla 13. Flavonoides, fenoles totales, capacidad antioxidante por DPPH y ABTS y antocianinas del extracto natural y de la bebida comercial (100 mL muestra).

	Extracto Natural	Comercial
Fenoles totales	37.404 ± 1.788 ^b	10.142 ± 0.508 ^a
Antocianinas	1422.744 ± 157.864 ^b	626.208 ± 45.914 ^a
Flavonoides (quercetina)	1.882 ± 0.107 ^b	0.746 ± 0.055 ^a
Flavonoides (catequina)	10.450 ± 0.849 ^b	0.884 ± 0.294 ^a
DPPH	0.378 ± 0.001 ^b	0.258 ± 0.027 ^a
ABTS	20.440 ± 0.981 ^b	0 ^a

Media ± desviación estándar (n=3). Valores en la misma fila con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). (Flavonoides: expresados en mg EQ/100 mL de muestra y mg EC/100 mL de muestra; fenoles totales: expresados en mg EAG/100 mL muestra; DPPH: expresados en mgEÁc.A./mL de muestra; ABTS: expresados en μ M E.T./mL de muestra; Antocianinas: expresadas en mgEC-3-G/100mL de muestra).

Por otra parte, la capacidad antioxidante determinada con el método DPPH, fue de 0.378 mg EÁc.A./g para el extracto natural y de 0.258 mg EÁc.A./g para la bebida comercial, observandose diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre ambas, teniendo 46.51% mayor capacidad antioxidante el extracto natural, en relación a la bebida comercial, sin embargo, cuando se analizaron las muestras por el método ABTS, la bebida comercial no presentó respuesta alguna, esto debido a la ausencia de extractos naturales en la elaboración de bebidas azucaradas en la industria alimentaria.

8.4 Evaluación *in vivo* de la bebida y del extrudido.

8.4.1. Efecto de los diferentes tratamientos sobre la ganancia de peso.

Una de las alternativas para combatir la obesidad es la modificación de la ingesta calórica diaria, la cual debe estar acorde con la actividad física del individuo, sin llegar al ayuno, debido a la pérdida proteica y a la hipotensión,

que puede ocasionar la muerte. El incremento de las cetonas con el ayuno inhibe la excreción de ácido úrico y puede acelerar la aparición de litiasis renal de uratos (formación de cristales en la orina), si no se trata al paciente de forma adecuada (Lavin, 2010).

En la Tabla 14, se muestra el peso inicial de los grupos experimentales (semana 0), en un intervalo de 333 a 358 g, teniendo un promedio de 344 g en los nueve grupos, en los cuales no se observaron diferencias significativas. El incremento de peso se registró durante las cuatro semanas de experimentación. A los ocho grupos diabéticos, se les administró una dieta hipercalórica en conjunto con los tratamientos. Durante la primera semana, los 8 grupos diabéticos mostraron una disminución de peso corporal con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), con respecto al control (CC), mostrando mayor diferencia con los grupos EX, BeN y BeC, sin embargo, en las semanas 2, y 3 no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$), a excepción de los grupos EX y CP, respecto de las semanas 0 y 1. Por otra parte, se muestra la ganancia de peso al final de la fase experimental (semana 4), en donde se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), en los grupos CP y BeN, siendo estos los de peso corporal más bajo. Los tratamientos CN, EX, BC, EX: BeN, BC: BeC, no afectaron el peso corporal, a pesar de la inducción a diabetes, mediante el daño pancreático ocasionado con la estreptozotocina, al no mostrar diferencias significativas con el grupo CC, sin embargo, el peso corporal, no es un indicativo del tipo de daño hepático, pancreático y renal, que pueda presentar cada uno de los diferentes grupos. El tratamiento con la bebida de jamaica, resultó ser el que presentó mayor disminución de peso, esto se pudo relacionar con la presencia de compuestos polifenólicos en su composición, como son las antocianinas. Estudios realizados en extractos acuosos de cálices de jamaica, han demostrado que presentan un efecto antiobesogénico. Alarcón *et al.* (2007), evaluaron ratones obesos inducidos con glutamato monosódico y reportaron que dos dosis diarias de 60 mg/kg, durante 60 días, de un extracto acuoso (no infusión) de *H. sabdariffa*, inhibe la ganancia de peso corporal, comparado con

Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II

Tabla 14. Efecto de los diferentes tratamientos sobre el incremento de peso de las ratas alimentadas con las diferentes dietas experimentales.

SEMANA	0	1	2	3	4
CC	351.66±21.14 ^a	378±29.59 ^b	394±33.80 ^b	402.88±37.82 ^b	412.55±37.20 ^b
CP	333±40.10 ^a	323.66±50.52 ^{ab}	337.16±52.75 ^{ab}	332.83±59.84 ^a	318±36.07 ^a
CN	348.66±238.84 ^a	352±40.62 ^{ab}	341±61.09 ^{ab}	365.5±58.96 ^{ab}	375.66±59.19 ^{ab}
EX	338±33.24 ^a	310.33±29.78 ^a	336.66±37.49 ^{ab}	335.66±34.22 ^{ab}	344.83±33.42 ^{ab}
BC	346±35.73 ^a	338.16±52.01 ^{ab}	373.5±51.32 ^{ab}	372.16±55.71 ^{ab}	368.33±55.18 ^{ab}
BeN	337.5±19.64 ^a	298.16±47.37 ^a	324.83±49.13 ^a	328.16±52.63 ^a	324.83±59.33 ^a
BeC	350.66±21.65 ^a	293.66±46.43 ^a	318.83±51.01 ^a	318.66±47.76 ^a	332.16±49.87 ^a
EX:BeN	358.33±20.65 ^a	334±33.70 ^{ab}	351±33.03 ^{ab}	352.83±35.19 ^{ab}	351.33±46.40 ^{ab}
BC:BeC	339.5±16.18 ^a	312.16±23.81 ^{ab}	334.16±23.79 ^{ab}	337.16±28.12 ^{ab}	335.33±30.04 ^{ab}

Media ± desviación estándar (n=6). Valores en la misma columna con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas (p < 0.05). (BeN: bebida de extracto natural; BeC: bebida comercial; EX-BeN: combinación de extrudido y bebida de extracto natural; BC-BeC: combinación de botana y bebida comercial. expresados en mg/dL de glucosa en sangre).

un control obeso sin tratamiento. Los mecanismos por los cuales *H. sabdariffa*, reduce la ganancia de peso, incluyen una disminución en la absorción de glucosa, inhibición de la lipasa gástrica y pancreática, estimulación de la termogénesis, inhibición de la formación de gotas de lípidos en adipocitos, sin afectar la función del tejido adiposo, inhibición de la síntesis de ácidos grasos e inhibición de la diferenciación de los adipocitos (Kim *et al.*, 2007).

En relación a algunas complicaciones de la obesidad, los efectos que se han evidenciado, en experimentos realizados con el extracto acuoso de los cálices de jamaica son numerosos. Uno de los más conocidos es el efecto hipotensor, atribuido a su acción vaso-relajante (Odigie *et al.*, 2003; Herrera-Arellano *et al.*, 2004). De igual manera, se le atribuyen efectos diuréticos, estimulación de la perístasis intestinal, reducción de los niveles de colesterol; acción astringente, digestiva, emoliente y sedativa (Tsai *et al.*, 2002). Chen *et al.* (2003), reportaron que un extracto de cálices de jamaica, al 1 %, administrado por 10 semanas, disminuyó el desarrollo de aterosclerosis en conejos alimentados con una dieta rica en colesterol (1.3 %) y manteca de cerdo (3%). Así mismo, concluyeron que el mecanismo relacionado con este efecto, pudiera ser debido a la inhibición de la oxidación de la lipoproteína de baja densidad (LDL). En un estudio realizado por Herrera-Arellano *et al.* (2004), con 65 pacientes hipertensos, de entre 30 y 70 años de edad, a los que se les administraron 240 mL al día, de infusión de cálices de jamaica, al 1 %, durante 6 semanas, presentaron una disminución en la presión sanguínea. Por su parte, Mozaffari-Khosravi *et al.* (2009), reportaron el mismo efecto, sobre la presión sanguínea, en pacientes con diabetes mellitus tipo II, en los cuales, el consumo de dos tazas diarias de 240 mL de infusión de cálices de jamaica al 1.4%, reduce la presión arterial. Los efectos atribuidos a los cálices de jamaica podrían estar relacionado con los compuestos fenólicos, presentes en los mismos. Peng *et al.* (2011), reportaron la presencia de antocianinas como la delfinidina-glucósido, el sambióside y la cianinidina-3-sambubiósido, así mismo, reportaron quercetina 3-glucósido, ácido clorogénico, ácido caféico, ácido protocatecúico, kaempferol-3-glucósido, entre otros.

8.4.2 Efecto de los diferentes tratamientos sobre la concentración de glucosa

La diabetes tipo II, es un trastorno metabólico, asociado con la resistencia a la insulina, secretada por las células β del páncreas, la cual es responsable de la estimulación del transporte de glucosa en el músculo esquelético y el tejido adiposo (Ghosh y Konishi 2007). La obesidad y la ingesta continua de alimentos con alto contenido energético, que no es aprovechado, provocada por la poca actividad metabólica y/o sedentarismo, se almacena y acumula en el tejido graso. Durante esta situación, el páncreas tiene una hiperactividad, por la alta y constante concentración de glucosa en sangre, con una secreción de insulina elevada, para conservar la glucemia en niveles normales, provocando la aparición de la diabetes tipo II.

En la Tabla 15, se presentan los resultados obtenidos de glucosa en sangre de los animales de experimentación, durante las 4 semanas en las que se alimentaron con las botanas y las bebidas. Los niveles de glucosa, en todos los grupos de ratas diabéticas, al inicio del experimento, fueron en promedio de 248.2 ± 6.84 mg/dL, a excepción del grupo control (animales sanos), que presentó valores de 105 mg/dL. En la primer semana, el tratamiento BC:BeC mostró un incremento en los niveles de glucosa, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), donde la glucosa se elevó considerablemente respecto a la semana de inicio y al grupo CC, alcanzando valores de 354.33 mg/dL. Mientras que entre los grupos EX, BeN, EX:BeN no se observaron diferencias significativas entre ellos, mostrando valores de 179.25, 187.5 y 165.5 mg/dL, respectivamente, siendo estos, los que presentaron los niveles de glucosa más bajos y los más cercanos al grupo CC. Por otra parte, el resto de los grupos, incluyendo los controles, mantuvieron estables los niveles de glucosa, respecto a la semana de inicio; durante la segunda semana, el grupo BC:BeC continuó incrementando los niveles de glucosa en un 41.05%, con respecto a la semana de inicio y entre los tratamientos, alcanzando niveles glucémicos de 357.33

Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II

Tabla 15. Determinación de glucosa en plasma de los animales alimentados con las diferentes dietas experimentales.

SEMANA	0	1	2	3	4
CC	105.5±35.23 ^b	118±9.92 ^b	121.6±9.96 ^a	121±13.25 ^a	122.33±2.51 ^e
CP	250.5±21.37 ^a	191.75±40.05 ^a	272.33±52.04 ^{bc}	361.5±34.88 ^d	224±2.64 ^{bc}
CN	261±28.21 ^a	217±24.04 ^a	145.25±8.53 ^a	248±9.89 ^{ab}	175.5±20.76 ^{ab}
EX	244.33±26.68 ^a	179.25±14.36 ^{ab}	244±38.08 ^{bcd}	321±46.11 ^{cd}	265.5±31.92 ^{cd}
BC	240±37.33 ^a	241.25±25.97 ^a	327.5±23.97 ^{ce}	304.25±22.03 ^{cd}	263.5±30.40 ^{cd}
BeN	242.66±27.75 ^a	187.5±19.46 ^{ab}	193.75±63.64 ^{abd}	180.66±34.29 ^{ab}	178.5±14.01 ^{ab}
BeC	249.5±24.75 ^a	242.75±14.15 ^a	280.5±6.36 ^{bce}	251.33±14.57 ^{bc}	301.5±7.7 ^d
EX:BeN	244.33±26.69 ^a	165.5±3.54 ^{ab}	129.5±12.02 ^{ad}	171±7.07 ^{ab}	150.66±17.10 ^{ae}
BC:BeC	253.33±26.54 ^a	354.33±11.59 ^c	357.33±31.65 ^e	318.66±17.04 ^{cd}	383±16.17 ^f

Media ± desviación estándar (n=6). Valores en la misma columna con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas (p < 0.05). (CC: grupo control; CP: control positivo; CN: control negativo; EX: extrudido; BC: botana comercial; BeN: bebida de extracto natural; BeC: bebida comercial; EX-BeN: combinación de extrudido y bebida de extracto natural; BC-BeC: combinación de botana y bebida comercial. Todos los valores son expresados en mg/dL de glucosa en sangre).

mg/dL, por el contrario, el grupo alimentado con EX:BeN, disminuyó sus niveles glucémicos, hasta alcanzar valores de 129.5mg/dL, sin presentar diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) con los grupos CC y CN. En la tercera semana, los niveles de glucosa en el grupo BC:BeC disminuyeron significativamente, sin embargo, los niveles de glucosa estaban por encima de los demás grupos, al igual que el CP. Al final del tratamiento, en la cuarta semana, el grupo BC:BeC (383 mg/dL) presentó los mayores niveles de glucosa (383 mg/dL) y el grupo Ex:BN mostró el menor contenido de glucosa (150.66 mg/dL), el cual presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) con respecto al resto de los tratamientos.

La combinación de la botana extrudida y la bebida de cálices de jamaica, resultó ser el mejor tratamiento, ya que se obtuvo el menor índice glicémico al final de la fase experimental (150.66 mg/dL), con respecto al resto de los tratamientos e inclusive, con respecto al grupo CP (224 mg/dL), al igual que el tratamiento con la bebida de cálices de jamaica (178.5 mg/dL), siendo así, los dos tratamientos en los que observó efecto hipoglucémico, en comparación con el resto de los tratamientos, sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre los grupos BeN, EX:BeN y CC.

La Asociación Americana de Diabetes (ADA), recomienda un desayuno rico en fibra dietaria, para promover la salud de las personas. El contenido de fibra dietaria presente en la botana extrudida, se considera uno de los compuestos activos, que contribuyeron al efecto hipoglucémico, en la administración del tratamiento del grupo EX:BeN, los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Manisha (2000), quien evaluó el efecto hipoglucémico de dos concentraciones de fibra, en pacientes con diabetes tipo II, demostrando que el consumo de alimentos con contenidos elevados de fibra, logra disminuir la hiperglucemia. En la Figura 11, se muestran las tendencias del efecto hipoglucémico de los tratamientos durante la fase experimental y en la Figura 12, se presenta los resultados correspondientes a la última semana del efecto hipoglucémico entre los tratamientos, en donde se observa que los grupos CC, BeN y EX:BeN, son estadísticamente iguales.

El efecto hipoglucémico en el grupo EX:BeN, se atribuye a la presencia de compuestos polifenólicos en la bebida de cálices de jamaica y en el extrudido. Estudios recientes, han demostrado, que dietas ricas en múltiples antioxidantes, disminuyen el riesgo de desarrollar cáncer, así mismo, que estas presentan efectos hipoglucemiantes, debido a que no todos los compuestos antioxidantes tienen el mismo mecanismo de acción, por lo que se cree que la mezcla de ellos incrementa la eficacia y minimiza la toxicidad de los mismos (Lee y Lee, 2006). Liu (2004) y Liu *et al.* (2000), han reportado efectos sinérgicos de los fitoquímicos obtenidos de la dieta, a partir de una combinación de frutas, tales como naranja, manzana, uva y arándano, mientras que Jung (2004), reporto que los flavonoides presentes en cítricos, como hesperidina y narangina (0.2 g/Kg), disminuyen los niveles de glucosa en sangre, en comparación con una dieta estándar.

Por otra parte, los resultados obtenidos en el grupo EX, no mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a la botana comercial, siendo estos, los que presentaron mayor índice glicémico, en conjunto con el grupo BC:BeC. Sin embargo, estos resultados no eran los que se esperaban, ya que la expectativa era que el grupo EX presentara resultados similares a los del grupo BeN, debido a la composición de polifenoles presentes en las materias primas con las que fueron elaborados, Repo-Carrasco-Valencia *et al.* (2009a); Repo-Carrasco-Valencia *et al.* (2009b) y Dlamini *et al.* (2007), reportan que durante el proceso de extrusión, el alto contenido de humedad en la mezcla puede promover la polimerización de fenoles;, efecto que no se presenta en la elaboración del extrudido ya que el bajo contenido de humedad en la mezcla evita dicha polimerización, lo cual fue comprobado en la determinación de fenoles totales del extrudido, sin embargo la biodisponibilidad de estos compuestos, puede ser una de las razones por las cuales, no se logro la liberación adecuada de compuestos fenólicos

Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II

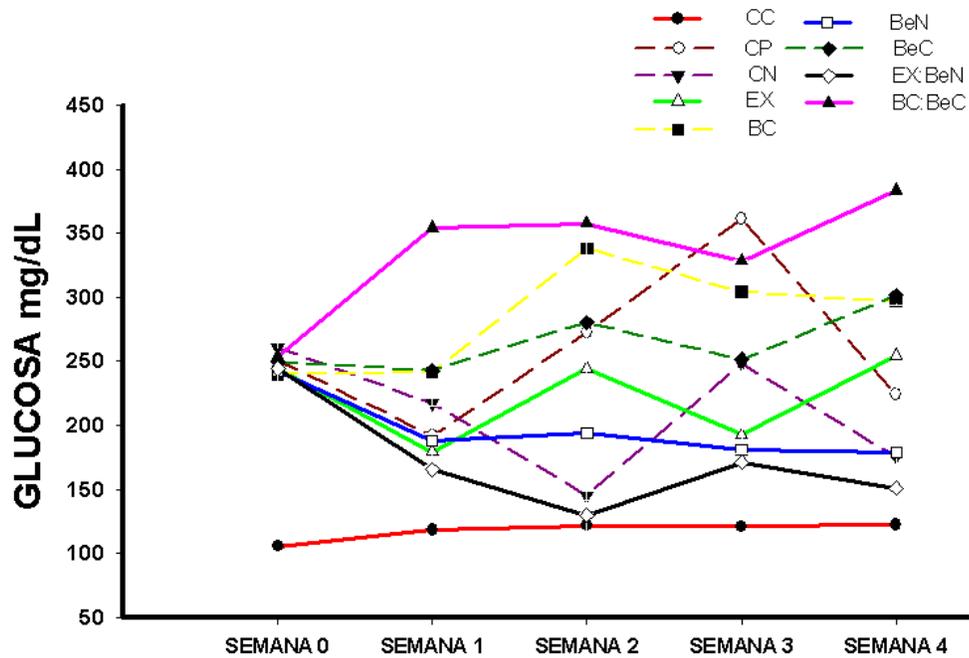


Figura 11. Determinación de glucosa en sangre en los animales alimentados con las diferentes dietas experimentales, durante cuatro semanas (mg/dL).

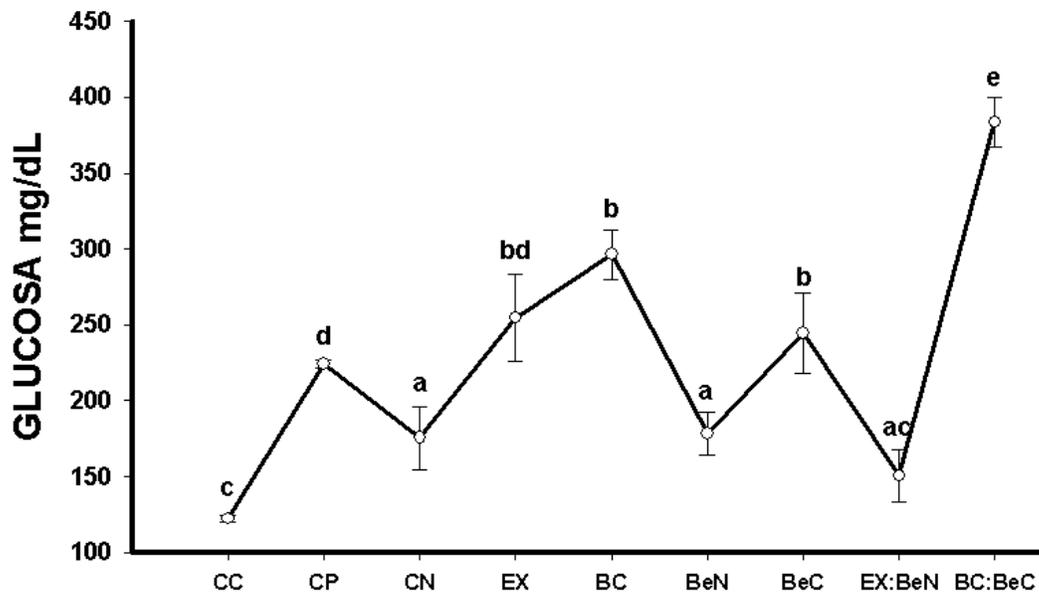


Figura 12. Determinación de glucosa en suero plasmático en los animales alimentados con las dietas experimentales al final del experimento (mg/dL).

Respecto a los resultados obtenidos en el grupo BeN, estos conciden con lo reportado por Chiung-Huei *et al.* (2011), quienes evaluaron dos concentraciones de 100 y 200 mg del extracto polifenólico de *H. sabdariffa*, en animales diabéticos inducidos con estreptozotocina, obteniendo valores de 180 mg/dL de glucosa en sangre, con la dosis de mayor concentración, demostrando efecto hipoglucémico en los animales diabéticos, por otra parte Wen-Chin *et al.* (2009), realizaron un estudio similar al reportado por Chiung-Huei *et al.* (2011), resaltándose que el método utilizado para la inducción fue más severo y en mayor concentración, por lo que reportan niveles de glucosa superiores a 600 mg/dL, en la administración de extracto polifenólico de *H. sabdariffa*. El extracto polifenólico, ejerció un efecto secretor y antihiper glucémico, por consiguiente, regulaba el metabolismo de la glucosa, evitando daño a hígado, páncreas y riñón.

8.4.3. Efecto del consumo de bebidas y botanas experimentales, sobre los niveles de colesterol, colesterol HDL y colesterol LDL en ratas inducidas a diabetes.

En la Figura 13, se presentan los niveles de colesterol total, colesterol-HDL y colesterol-LDL, presentados por los animales alimentados con las diferentes dietas experimentales, después de cuatro semanas de consumo, en esta figura se observa que todos los grupos tenían niveles menores de 200 mg/dL, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre sí. Respecto a los niveles de colesterol total, los más elevados se presentaron en los grupos EX (172.28 mg/dL) y BC:BeC (161.21 mg/dL), mientras que los más bajos, se presentaron en los grupos BeN (135.77 mg/dL) y EX:BeN (133.09 mg/dL), evidenciándose que el alimento EX:BeN, fue el mejor tratamiento seguido del BeN, cuyos grupos presentaron niveles inferiores que el grupo CC (colesterol de 143.86 mg/dL). En el caso de los niveles de colesterol-HDL, todos los grupos presentaron niveles por debajo de los 70 mg/dL, siendo los controles (CC, CP, CN), los de mayor concentración, respecto a las dietas experimentales analizadas, los cuales no presentaron diferencias estadísticamente

significativas entre sí. Finalmente, con respecto a los niveles de colesterol LDL, el más elevado se registró en BC:BeC (77.81 mg/dL), presentando diferencias estadísticamente significativas con CC (53.04 mg/dL), mientras que en los grupos EX y EX:BeN, se obtuvieron los valores más bajos de todos los tratamientos, incluyendo el grupo control (ratas sanas), con valores de 38.82 y 36.62 mg/dL, respectivamente.

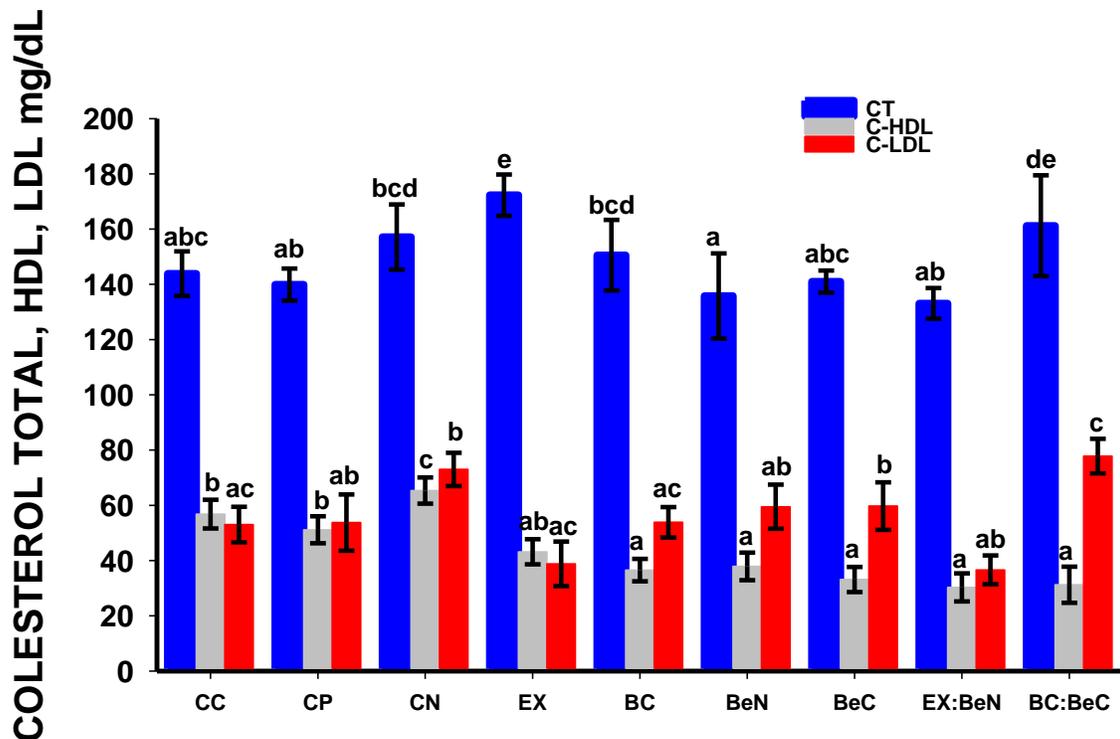


Figura 13. Determinación de colesterol en suero plasmático de los animales alimentados con las diferentes dietas experimentales (mg/dL).

Desatcándose que ninguno de los tratamientos generó hipercolesterolemia, a pesar de la dieta hipercalórica consumida, esto se debe principalmente, al corto tiempo de experimentación. En el caso de los tratamientos, donde se generó efecto hipocolesterolémico, este puede atribuirse a la presencia de fibra en la botana extrudida, en conjunto con los compuestos polifenólicos de la bebida natural elaborada con cálices de jamaica. La fibra dietaría en el extrudido, al ser consumida, atraviesa los intestinos, formando una masa viscosa, que atrapa el

exceso de colesterol, azúcar y toxinas, secretándolos finalmente, en las heces fecales. En tanto que, la fibra insoluble que incluye celulosa, lignina y algunas hemicelulosas, se distribuye ampliamente en los granos enteros, como el maíz azul (Stojceska *et al.*, 2008; FAO, 2014).

Si bien, el consumo regular de alimentos ricos en fibra, es parte de una dieta saludable, cabe señalar que no todas las personas pueden consumir alimentos altos en fibra (Christakis, 1970). Se debe considerar, que la relación entre el consumo de fibra y la aparición de diversas enfermedades, no es una relación efecto-causa. Desde el contexto nutricional, las repercusiones fisiológicas de la fibra, derivan de algunas características como, capacidad de retención de agua, viscosidad, carga iónica y capacidad de absorción (Marlett, 2003). La disponibilidad de la fibra para ser fermentada en el colón y la consecuente producción de ácidos grasos de cadena corta, podría contribuir al efecto hipocolesterémico, atenuando la síntesis de colesterol (Anderson *et al.*, 2011). Por otra parte, Chang-Che *et al.* (2003), evaluaron un extracto de *H. sabdariffa*, en ratas diabéticas inducidas con estreptozotocina, en este trabajo, demostraron la capacidad que tiene el consumo del extracto para inhibir la aterosclerosis e hipercolesterolemia, debido a la presencia de las antocianinas en el mismo, ya que estos compuestos aumentan la inhibición *in vitro*, de la oxidación de colesterol-LDL, así como la cantidad de lípidos séricos y el número de células espumas, oxidadas, LDL-positivas y la migración de éstas al músculo liso. Por lo que se planteó que el extracto de *H. sabdariffa*, tiene la capacidad de atrapar especies reactivas de oxígeno en el plasma y en el líquido de la arteria intersticial, inhibiendo así la oxidación de las moléculas de LDL; debido a este mecanismo de acción, se justifica la reducción de colesterol total y colesterol LDL en los grupos experimentales, sin embargo, como se mencionó anteriormente, para observar un mayor efecto, sería recomendable alargar el tiempo de experimentación, para la inducción de hipercolesterolemia y el efecto del tratamiento sobre esta.

8.4.4. Efecto de los diferentes tratamientos sobre los niveles de triglicéridos.

La función principal de los adipocitos, es el almacenamiento de triglicéridos (Guilherme *et al.*, 2008). En la Figura 14, se presentan los resultados del contenido de triglicéridos en sangre de los grupos alimentados con las diferentes dietas experimentales, los cuales fueron determinados al final del tratamiento. Estos resultados muestran niveles superiores a 300 mg/dL, observándose que los mayores niveles de triglicéridos los presentaron los grupos a los que se les administró la botana comercial (438.88), seguido del grupo al que se le suministró la bebida comercial más la botana comercial (432.32) y el de la botana extrudida (353.03), mientras que los grupos a los que se les administró la bebida natural y la bebida natural en combinación con la botana extrudida, presentaron niveles de triglicéridos entre 206.06 y 245.95 mg/dL, respectivamente. Con respecto a los controles, CP y CN, tuvieron 92 y 58% más triglicéridos que CC (113.13 mg/dL), con niveles de 218.68, 179.29 mg/dL, respectivamente, observándose diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre éstos. Los grupos BeN y EX:BeN, presentaron los niveles más bajos, entre las dietas experimentales, pero fueron superiores a los controles. El almidón y la sacarosa, son los carbohidratos dietéticos más importantes, presentes en la dieta hipercalórica consumida en cada uno de los grupos, los cuales pudieron contribuir al aumento del nivel de triglicéridos en sangre. La digestión, absorción y metabolismo de éstos, pudo estar influenciado por los compuestos polifenoles y sus metabolitos, presentes en los tratamientos, debido al consumo de estos compuestos, los tejidos periféricos incluyendo músculo, tejido adiposo y riñón, promueven el almacenamiento de glucosa en el hígado, como glucógeno e inhibe la lipólisis en el tejido adiposo (Hanhineva *et al.*, 2010), es por ello que en el grupo EX:BeN se pudo observar la sinergia de las diferentes fuentes de compuestos polifenólicos, dando lugar a un efecto de disminución significativa, en el contenido de triglicéridos en ratas diabéticas alimentadas con dieta basada en grasa, obteniendo los niveles menores entre los tratamientos. Estudios previos han demostrado, que la

suplementación de polifenoles cítricos como hesperidina y naringina, en una concentración de 0.2 g/kg, tienen la capacidad de disminuir el peso corporal, los triglicéridos séricos, los triglicéridos en hígado y en corazón, postulándose que estos cambios fisiológicos se debían al incremento de la enzima ARNm glucoquinasa hepática, a la disminución de la expresión de las enzimas gluconeogénicas PEPCCK y G6Pasa y a la mejora en el metabolismo de lípidos (Jung, 2004; Purushotham, 2009). Por otro lado, Peng *et al.* (2011), evaluaron el consumo de un extracto de *H. sabdariffa* en ratas diabéticas inducidas con estreptozotocina, en dicho estudio se administró una dosis de 200 mg/Kg, que demostró ejercer un efecto de disminución de triglicéridos, concordando con los resultados obtenidos.

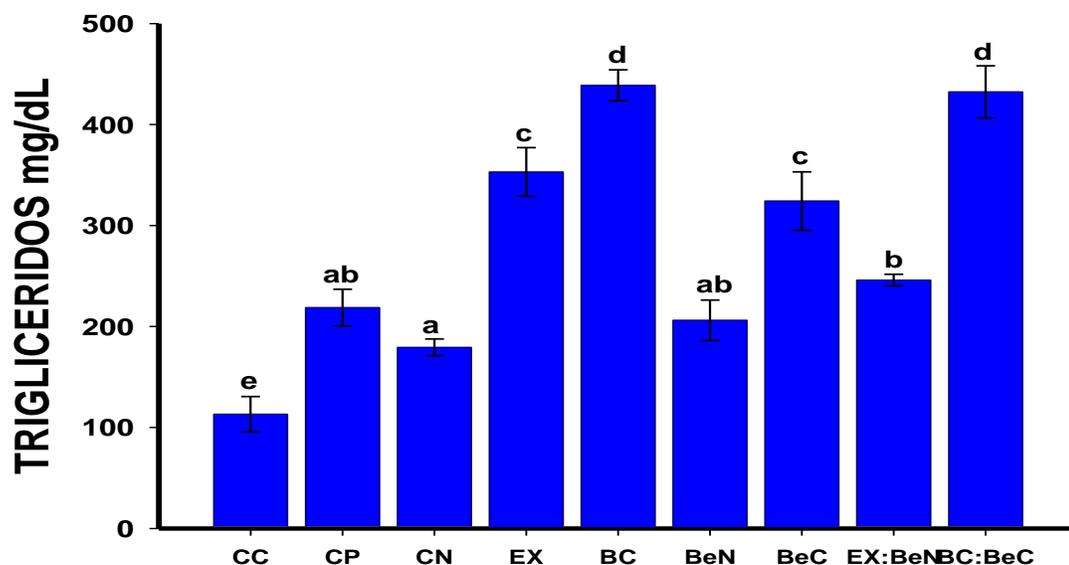


Figura 14. Determinación de triglicéridos en suero plasmático de los animales experimentales alimentados con las diferentes dietas experimentales (mg/dL).

8.4.5. Análisis de posible daño hepático

Mediante el análisis histopatológico, se evaluó el posible daño hepático inducido por el consumo de las diferentes dietas experimentales en las ratas inducidas a diabetes por inyección de estreptozotocina. En la Figura 15, se muestra el tejido

hepático de los animales alimentados con las diferentes dietas experimentales, observándose que el tejido tomado del hígado del grupo CC, no presentó cambios aparentes, salvo una degeneración albuminosa de sus hepatocitos, probablemente debida al tiempo de colección de la muestra y una hiperemia pasiva (aumento del riego sanguíneo tisular), causada por el método de sacrificio (Figura 15A). En los hepatocitos del grupo CP, sólo se observó la presencia de vacuolas discretas en poco más del 50% de los animales; de manera general, en el tejido, se observó hiperemia pasiva y degeneración albuminosa, descritas con anterioridad (Figura 15B). En el grupo CN, se observó la presencia moderada de vacuolas en el citoplasma de los hepatocitos, además de los cambios descritos en los grupos previos (Figura 15C), en el grupo EX, además de los cambios generales, descritos en los grupos anteriores, el hígado del 66.6% de los animales, presentó vacuolas en el citoplasma de los hepatocitos, principalmente en células cercanas a las venas centrales (16.66%), así como pérdida ligera de la arquitectura tisular en otro 16.66% del grupo (Figura 15D). En grupo BC, se presentaron los cambios generales descritos anteriormente, así como una presencia escasa (16.66%), moderada (66.66%) a abundante (16.66%) de vacuolas, en el citoplasma de sus hepatocitos (Figura 15E). En el 100%, de los animales de experimentación del grupo BeN, se observaron vacuolas discretas en los hepatocitos (Figura 15F). En el grupo BeC, los hepatocitos no presentaron cambios aparentes, con excepción de la presencia de vacuolas discretas en el 16.66% de los animales (Figura 15G). En el grupo EX:BeN, el hígado no presentó cambios patológicos aparentes en el 100% de los animales (Figura 15H). En el grupo BC:BeC, el hígado presentó cambios semejantes a los descritos en el grupo EX, vacuolas abundantes en el 66.66% de los animales, mientras que el 33.34%, presentó vacuolas más discretas (Figura 15I). Los tejidos de los diferentes tratamientos, no presentaron daños significativos entre ellos, salvo hiperemia, debido al método de sacrificio y al tiempo de fijación de los órganos, así como un ligero daño en las células de los hepatocitos, principalmente en los grupo EX y BC:BeC. Una de las razones por las cuales no

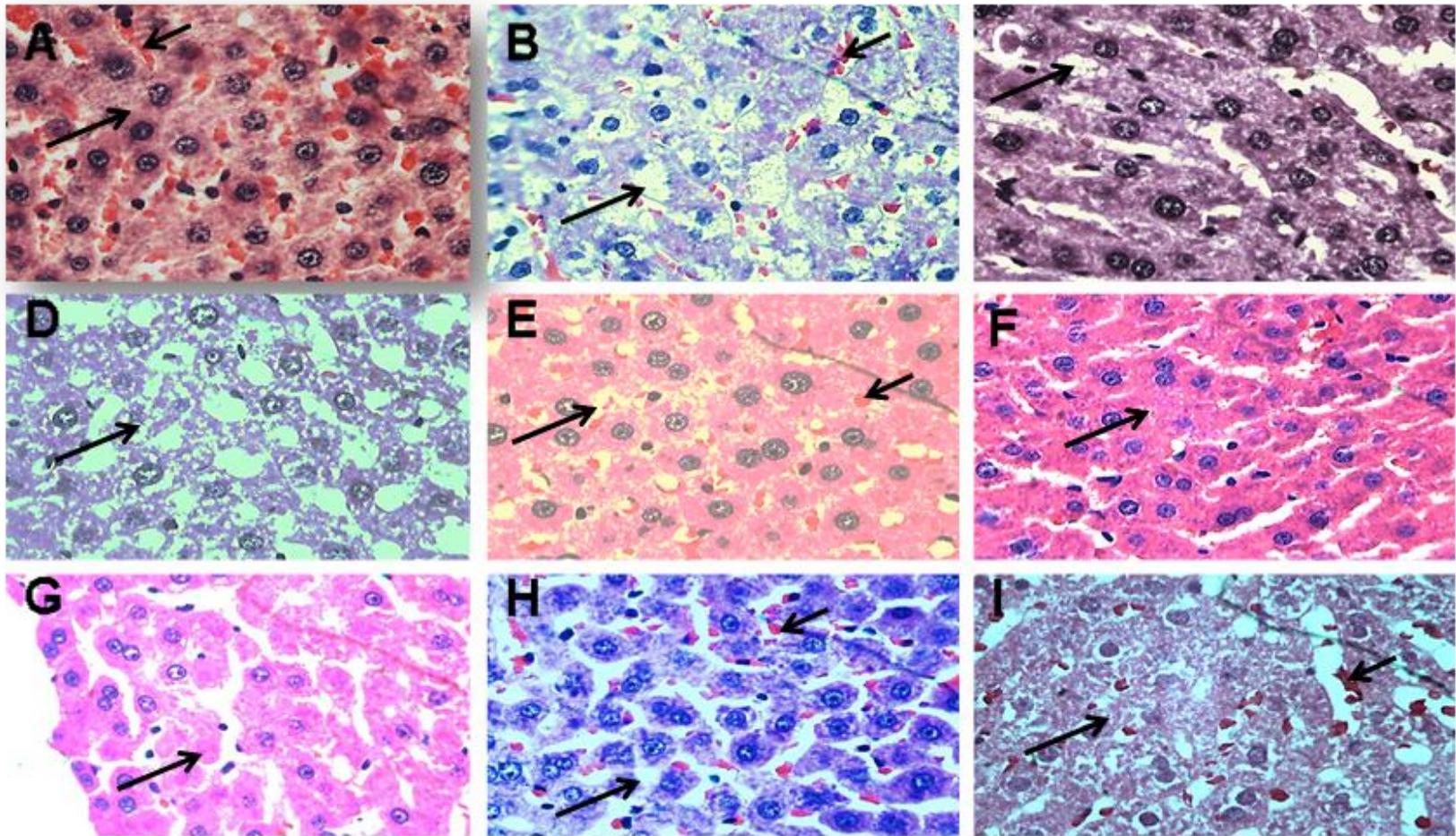


FIGURA 15. HIGADO. H-E.400X Presencia de vacuolas en hepatocitos de ratas inducidas a diabetes tipo II, alimentadas con dieta hipercalórica, tratadas con fármaco, alimentos tipo botanas y bebidas (A: CC, ratas sanas; B: CP, ratas diabéticas tratadas con Glibenclamida; C: CN, ratas diabéticas sin tratamiento; D: EX, ratas diabéticas tratadas con botana extrudida; E: BC, ratas diabéticas tratadas con botana comercial; F: BeN, ratas diabéticas tratadas con bebida de cálices de jamaica; G: BeC, ratas diabéticas tratadas con bebida comercial; H: EX:BeN, ratas diabéticas tratadas con botana extrudida y bebida de cálices de jamaica; I: BC:BeC, ratas diabéticas tratadas con botana y bebida comercial.

se observaron daños importantes, se atribuye al tiempo de experimentación, sin embargo, el grupo EX:BeN, no presenta daño alguno, en comparación con el resto de los tratamientos. Diversos polifenoles dietéticos, pueden influir en el metabolismo de carbohidratos, en modelos animales y en un número limitado de estudios realizados hasta el momento, alimentos y bebidas ricas en estos compuestos, han atenuado los efectos postprandiales, los posibles mecanismos, incluyen la inhibición de la digestión de carbohidratos y la modulación en la liberación de glucosa del hígado. Una hipótesis sobre el posible efecto en el metabolismo del hígado, por el consumo de una dieta rica en polifenoles, se debe a la regularización en el metabolismo del sistema digestivo, tal es el caso de la botana extrudida y de la bebida de cálices de jamaica, lo que favorece la función metabólica del hígado, disminuyendo la degradación y apoptosis de los hepatocitos, ya que el hígado juega un papel importante en la regulación de los niveles de glucosa en sangre y es responsable, de absorber un tercio de la glucosa postprandial (Cherrington, 1997), almacenando eficazmente la glucosa como glucógeno a través de la glucogénesis. Esta teoría se confirma, debido a que, al consumir alimentos, la insulina suprime la producción de glucosa en el hígado (Dentin *et al.*, 2007). Además, el sistema nervioso central regula los efectos en la secreción de la insulina y parte del metabolismo de los ácidos grasos de cadena larga, para ejercer un mayor control sobre el metabolismo de la glucosa hepática (Lam *et al.*, 2005; Poci *et al.*, 2005). En la diabetes tipo II, el metabolismo hepático de la glucosa y la producción de glucosa hepática, se ven afectados por la incapacidad del hígado, para responder a la insulina, dando lugar a graves efectos en la regularización de la homeostasis de la glucosa, con consecuencias tales como: incremento en la producción de glucosa hepática, hiperglucemia y acumulación de triglicéridos en el hígado (Postic y Girard, 2008), dando lugar a la esteatosis hepática, provocando degradación y apoptosis de los hepatocitos. En ratones, alimentados con una dieta rica en grasa, se ha demostrado que primero se deteriora la sensibilidad a la insulina hepática, en asociación con la acumulación hepática de grasas de cadena corta a media (Stewart *et al.*, 2009).

8.4.6. Análisis de posible daño pancreático

La secreción de insulina en el páncreas, implica numerosas reacciones, en las cuales tendrán acción los compuestos fenólicos. Concentraciones elevadas de glucosa en sangre, provocan un incremento de la demanda de insulina producida por las células β -pancreáticas. En la Figura 16, se presentan los tejidos pancreáticos de los animales alimentados con las diferentes dietas experimentales, obtenidos a 400x aumentos, mientras que en la Figura 17, se presentan los islotes pancreáticos a una resolución de 100x. En dichas figuras se observa que el tejido pancreático de CC, presentó degeneración albuminosa de las células de los acinos, probablemente, asociada al tiempo de colección de la muestra y una hiperemia pasiva ligera, probablemente causada por el método de sacrificio (Figura 16A). En CP, el páncreas de este grupo, además de los cambios citados en CC, presentó islotes de menor tamaño aparente, así como vacuolas de tamaño uniforme, pero más dispersas en el citoplasma de los acinos (Figura 16B). CN, presentó los cambios anteriormente descritos en CP, además de una escasa presencia de islotes, así como una variación en el tamaño de éstos en el 33.33% de los animales (Figura 16C). En EX, se observó escasa presencia de islotes y de tamaño reducido con respecto a CC, así mismo, en los islotes del 16.66% de los animales de este grupo, se pueden apreciar espacios vacíos y una población celular muy escasa (2 a 3 células), otro cambio evidente, fue la presencia de vacuolas en el citoplasma de las células de los acinos, en el 100% de los animales de EX (Figura 16D). En lo que respecta al grupo BC, además de los cambios generales anteriormente descritos, se observó, en un 16.66% de los animales, la presencia de numerosos islotes de tamaño convencional, mientras que en el 83.34% de los mismos, se observó una cantidad escasa de islotes de tamaño reducido (Figura 16E). En el grupo BeN, los islotes pancreáticos presentaron tamaño reducido y en sus células, se observaron vacuolas discretas en el 100% de los animales (Figura 16F). En relación a BeC, los islotes de este grupo, presentan cambios muy similares a los descritos en BeN, en el 100% de los animales (Figura 16G).

Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II

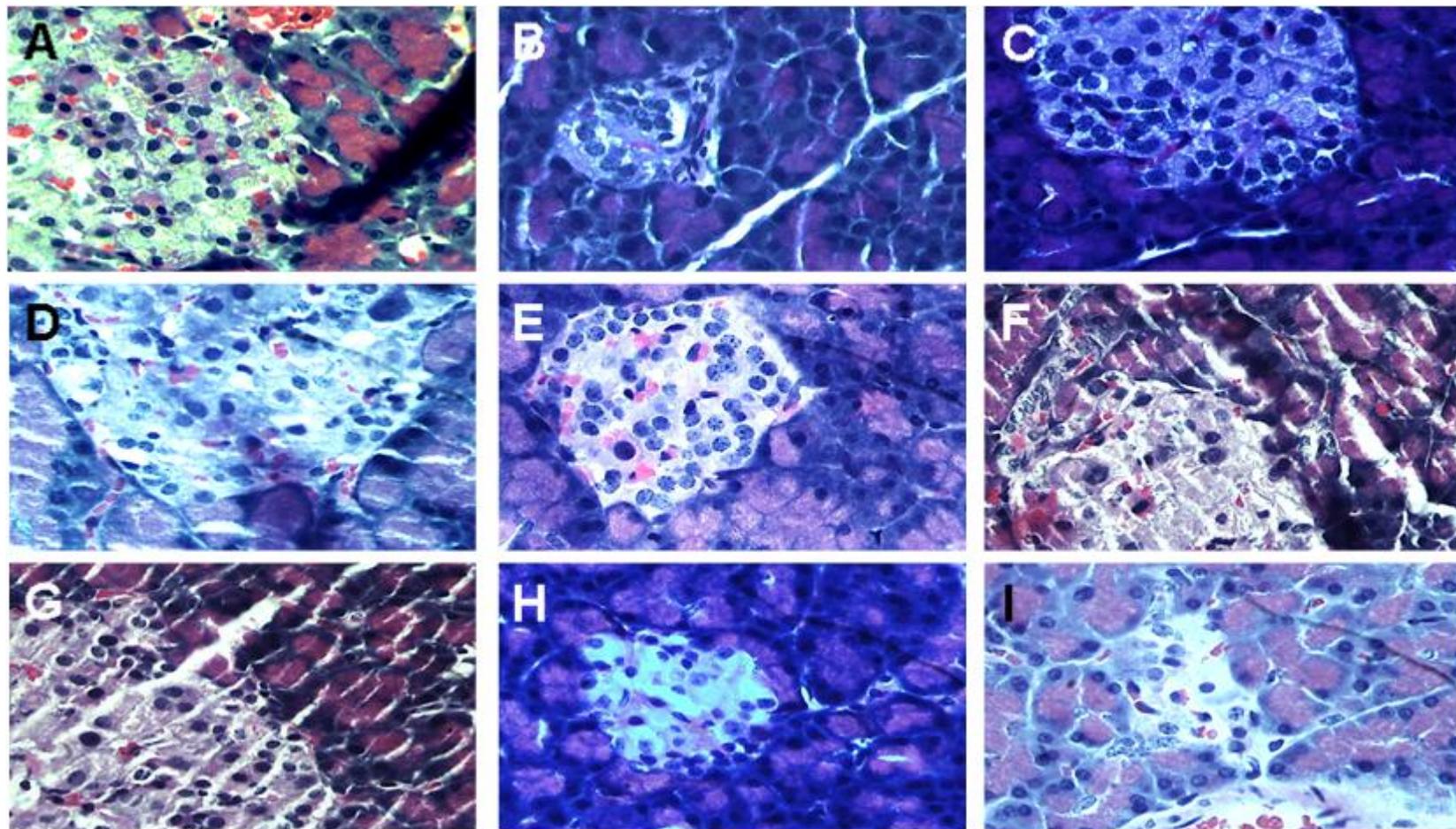


FIGURA 16. PÁNCREAS.H-E.400X Presencia de vacuolas en islotes pancreáticos de ratas inducidas a diabetes tipo II, alimentadas con dieta hipercalórica, tratadas con fármaco, alimentos tipo botanas y bebidas (A: CC, ratas sanas; B: CP, ratas diabéticas tratadas con Glibenclamida; C: CN. Ratas diabéticas sin tratamiento; D: EX, ratas diabéticas tratadas con botana extrudida; E: BC, ratas diabéticas tratadas con botana comercial; F: BeN, ratas diabéticas tratadas con bebida de cálices de jamaica; G: BeC, ratas diabéticas tratadas con bebida comercial; H: EX:BeN, ratas diabéticas tratadas con botana extrudida y bebida de cálices de jamaica; I: BC:BeC, ratas diabéticas tratadas con botana y bebida comercial).

Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II

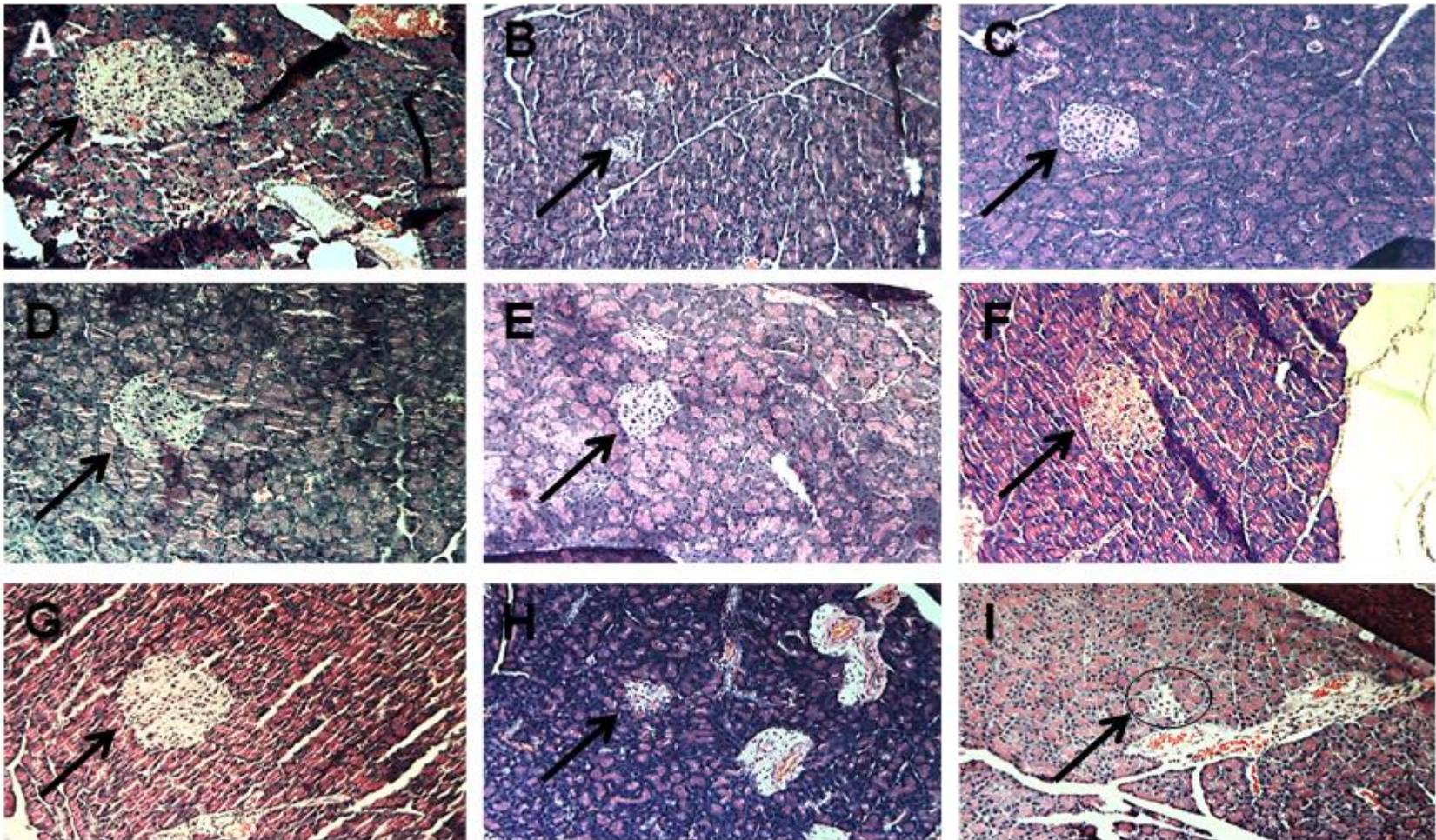


FIGURA 17. ISLOTES PÁNCREÁTICOS. H-E-100X Tamaño aparente de los islotes pancreáticos de ratas inducidas a diabetes tipo II, alimentadas con dieta hipercalórica, tratadas con fármaco, alimentos tipo botanas y bebidas (A: CC, ratas sanas; B: CP, ratas diabéticas tratadas con Glibenclamida; C: CN, ratas diabéticas sin tratamiento; D: EX, ratas diabéticas tratadas con botana extrudida; E: BC, ratas diabéticas tratadas con botana comercial; F: BeN, ratas diabéticas tratadas con bebida de cálices de jamaica; G: BeC, ratas diabéticas tratadas con bebida comercial; H: EX:BeN, ratas diabéticas tratadas con botana extrudida y bebida de cálices de jamaica; I: BC:BeC, ratas diabéticas tratadas con botana y bebida comercial).

Con respecto a EX:BeN, los islotes pancreáticos de este grupo, presentan cambios similares a los descritos en BeN, en el 80% de los animales, mientras que el 20% restante presentó islotes escasos, pero de mayor tamaño (Figura 16H). Finalmente en BC:BeC, los islotes pancreáticos de este grupo, presentaron cambios similares a lo descrito para el grupo CH, en el 100% de los animales (Fig. 16I).

En la Figura 17, se puede observar el cambio de tamaño aparente de los islotes pancreáticos, de los grupos diabéticos con respecto al grupo CC (ratas sanas), la reducción de tamaño (Figura 17), se vio afectado por la inducción de diabetes con estreptozotocina, ya que este compuesto es un antibiótico producido por *Streptomyces achromogenes*, que se emplea, además, como antineoplásico, por su acción citotóxica altamente selectiva, para las células β de los islotes pancreáticos (Srinivasan *et al.*, 1969). Las lesiones percibidas, son la evidencia histológica de la posible regeneración parcial del páncreas, en el caso de grupo EX:BeN, el cual fue alimentado con una dieta rica en polifenoles, ya que el 20% de los animales muestran islotes de tamaño regular y similares a los del grupo CC; a pesar de que la acción de la estreptozotocina es específica contra las células β , el resto del islote, se ve afectado por los posibles mecanismos de regeneración, esto se atribuye al mecanismo de acción de los compuestos polifenólicos, que se han descrito con anterioridad y los cuales contribuyen a restablecer el metabolismo del sistema endocrino, para la producción de insulina, la generación de nuevas células β , puede ocurrir a partir de células indiferenciadas (neogénesis), de células ya diferenciadas, se pueden convertir en otro tipo celular (transdiferenciación) y de la replicación de las propias células β remanentes (proliferación) (Damasceno *et al.*, 2103; Damasceno *et al.*, 2014), siendo el grupo EX:BeN, el que presentó mejor efecto entre los tratamientos. Por el contrario, el grupo BC:BeC, en cual los animales fueron alimentados con un elevado contenido de carbohidratos y de lípidos, los islotes pancreáticos se observaron atróficos y con bordes distorsionados, con edema y presencia de vacuolas intracitoplásmicas, evidenciando el daño pancreático, que a su vez conduce a la aparición de hiperglicemia prolongada e

hiperlipidemia, típicamente en el desarrollo de procesos metabólicos, el cual se refleja en la resistencia a la insulina autocrina, disminución de la secreción de insulina, disminución de la expresión de los genes, implicados en la producción de insulina y finalmente en la masa de las células β , causada por la apoptosis (Hanhineya *et al.*, 2010).

8.4.7. Efecto de las diferentes dietas en daño renal

Los transportadores de glucosa, participan activamente en la movilización y captación de glucosa, la glucosa se transporta por las células renales tubulares y permanece almacenada, en compartimientos que corresponden a la insulina, dentro de las células, hasta que la insulina localiza parte de la superficie celular, desplazando las moléculas de glucosa, ejerciendo efecto hipoglucémico, generando un efecto contrario cuando se desarrolla la diabetes, debido a los niveles elevados de glucosa en sangre, generando daño renal (litiasis renal) (Hanhineva *et al.*, 2010). Respecto al daño renal, en CC, los riñones de los animales sólo presentaron una degeneración albuminosa en las células de sus túbulos, probablemente por el tiempo de colección de la muestra y una hiperemia pasiva, notoria a nivel de médula, probablemente, causada por el método de sacrificio (Figura 18A). Respecto al grupo CP, además de los cambios generales descritos para CC, se observó la presencia de vacuolas discretas, en los túbulos contorneados y rectos, en un poco más del 66.66% de los animales del grupo (Figura 18B), al igual que en el grupo CN (Figura 18C), el resto de los animales presentaron cambios semejantes a los descritos en el grupo CN, con presencia de vacuolas en las células de sus túbulos, principalmente a nivel medular, en el 100% de cada grupo (Figura 18D a 18I). El análisis histopatológico mostró que no hubo cambios aparentes en el tejido renal, en el tiempo de experimentación, por lo que el tiempo de experimentación no fue suficiente para lograr la evidencia de daño significativo, causado por el consumo de dietas altas en grasa y carbohidratos, que pudiesen provocar insuficiencia renal, por la producción de toxinas, provenientes de cuerpos cetónicos y liberación de calcio de la glándula pancreática

Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II

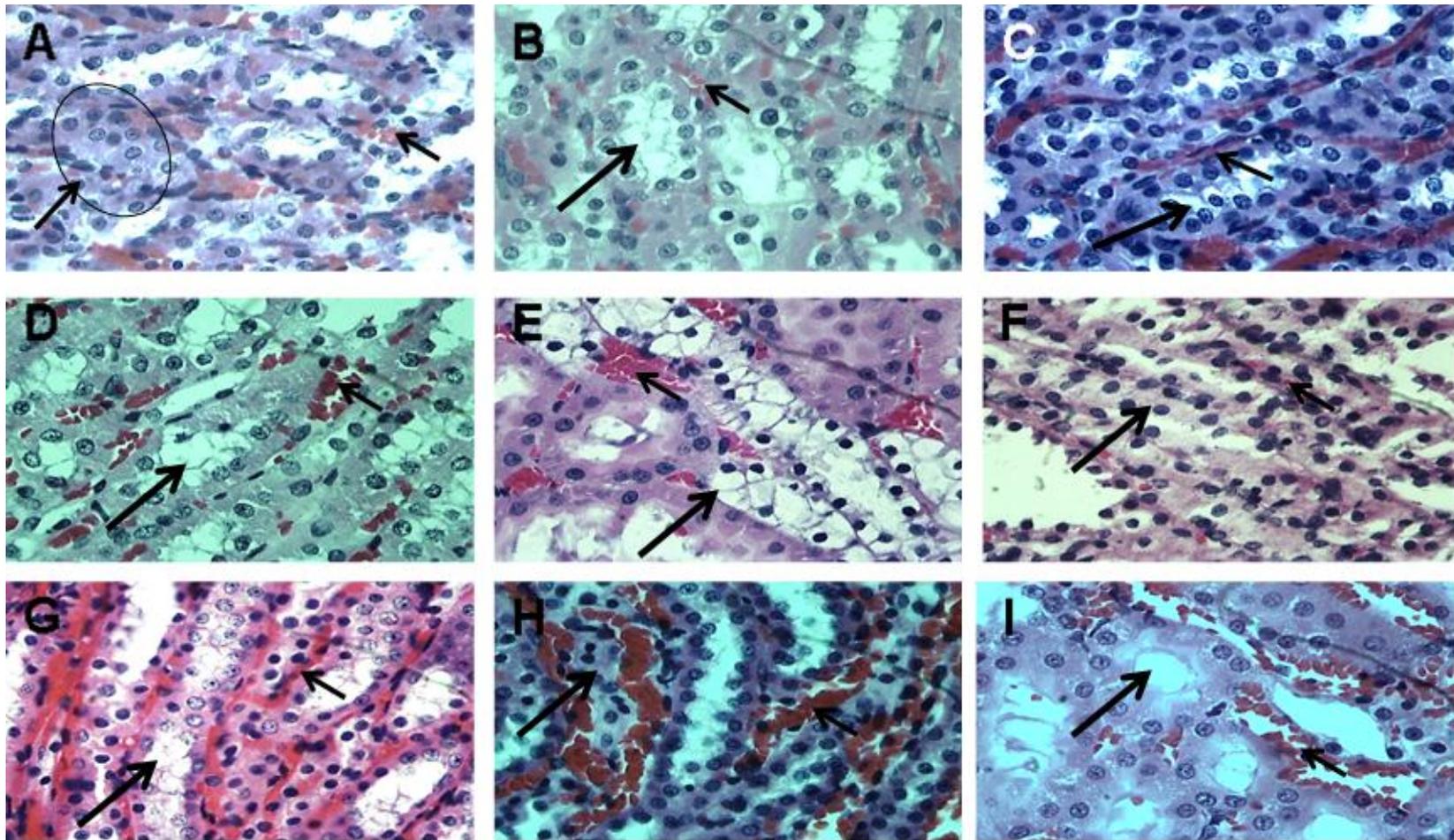


FIGURA 18. RIÑÓN.H-E-100X Presencia de vacuolas tubulos contorneados y rectos de ratas inducidas a diabetes tipo II, alimentadas con dieta hipercalórica, tratadas con fármaco, alimentos tipo botanas y bebidas (A: CC, ratas sanas; B: CP, ratas diabéticas tratadas con Glibenclamida; C: CN, ratas diabéticas sin tratamiento; D: EX, ratas diabéticas tratadas con botana extrudida; E: BC, ratas diabéticas tratadas con botana comercial; F: BeN, ratas diabéticas tratadas con bebida de cálices de jamaica; G: BeC, ratas diabéticas tratadas con bebida comercial; H: EX:BeN, ratas diabéticas tratadas con botana extrudida y bebida de cálices de jamaica; I: BC:BeC, ratas diabéticas tratadas con botana y bebida comercial).

9. CONCLUSIONES

1. La cantidad de compuestos fenólicos presentes tanto en la bebida como en la botana extrudida, podrían ser las responsables de la funcionabilidad de los mismos como alimentos.
2. El perfil fitoquímico, realizado tanto en las harinas, para la elaboración del extrudido, como en la botana extrudida, no se ve afectado por el proceso de extrusión, manteniendo la estabilidad de los compuestos polifenólicos presentes en la materia prima.
3. El análisis químico proximal realizado, tanto en la botana comercial como en la botana extrudida, muestra diferencias significativas importantes, en la cantidad de lípidos y de proteína, demostrando que la botana extrudida, tiene un mejor aporte de nutrientes en comparación a la botana comercial evaluada.
4. La combinación de los compuestos bioactivos, presentes en la botana extrudida y en la bebida de cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), poseen un efecto sinérgico, proporcionando un beneficio a la salud, logrando la disminución de glucosa, colesterol, LDL y triglicéridos en ratas diabéticas.
5. La combinación de productos extrudidos, utilizando maíz azul en combinación con el agua de jamaica, pueden ser utilizados como una alternativa para el control de glucosa en sangre en personas diabéticas.

10. SUGERENCIAS

1. Incrementar el tiempo del experimento, para ver cambios con mayor significancia.
2. Determinar el contenido de metabolitos séricos, al inicio de la fase experimental, al ser inducidos a diabetes y tratados con los alimentos experimentales.
3. Determinar el contenido de triglicéridos hepáticos en heces fecales y orina.
4. Cuantificar la cantidad de compuestos polifenólicos, en heces fecales y orina, para determinar la cantidad de compuestos que fueron absorbidos, durante el consumo y por lo tanto metabolizados.

Las recomendaciones se realizan, con el propósito de conocer los niveles de los metabolitos séricos, al inicio de la fase experimental, para poder monitorear un incremento o disminución de estos parámetros a lo largo del periodo de experimentación y de esta manera, evidenciar un efecto hipoglucémico e hipolipidémico de los polifenoles en ratas diabéticas, inducidas con estreptozotocina, de igual forma se sugiere monitorear el contenido de compuestos polifenólicos y poder referenciar las cantidades sugeridas para la ingesta diaria que originen efectos positivos a la salud.

11. REFERENCIAS

- Agama, E. 2011. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3: 317-329.
- Agama-Acevedo, E., Ottenhof, M.A., Farat, I., Paredes-López, O., Ortiz-Cereceres, J. y Bello-Pérez, L.A. 2004. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia*, 29: 643-649.
- Aguayo-Rojas, J., Mora-Rochín, S., Cuevas-Rodríguez, E.O., Serna-Saldivar, S. O., Gutierrez-Uribe, J.A., Reyes-Moreno, C. y Milán-Carrillo, J. 2012. Phytochemicals and Antioxidant Capacity of Tortillas Obtained after Lime-Cooking Extrusion Process of Whole Pigmented Mexican Maize. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(2): 178-85.
- Ailhaud, G. y Hauner, H. 1998. Development of white adipose tissue. En: GA. Bray, Claude Bouchard, W.P.T. James, editores. *Handbook of Obesity*. New York: Marcel Dekker Inc, 359-378.
- Alarcón-Aguilar, F.J., Zamilpa, A.Ma., Perez-Garcia, D., Almanza-Pereza, J.C., Romero-Nuñeza, E., Campos-Sepulveda, E.A., Vazquez-Carrillo, L.I. y Roman-Ramos, R. 2007. Effect of hibiscus sabdariffa on obesity in MSG mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 114(1): 66-71.
- Alarcón-Corredor, O.M. 2009. Los elementos traza. *Revista Medica de la Extension Portuguesa*, 4(3): 107-124.
- Al-Awwadi, N.A., Araiz, C., Bornet, A., Delbosc, S., Cristol, J.P., Linck, N., Azay, J., Teissedre, P-L. y Cros, G. 2005. Extracts enriched in different polyphenolic families normalize increased cardiac NADPH oxidase expression while having differential effects on insulin resistance, hypertension, and cardiac hypertrophy in high-fructose-fed rats. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53: 151–57.
- Alhaud, G. y Hauner, H. 1998. Development of white adipose tissue. En: GA. Bray, Claude Bouchard W.P.T. James, editors. *Handbook of obesity*. New York: Marcel Dekker Inc, 359-378.

- Allen, R.G y Tresini, M. 2000. Oxidative stress and gene regulation. *Free Radical Biology and Medicine*, 28: 463–99.
- Andersen, Ø.M. y Jordheim, M. 2008. Anthocyanins-food applications. Presented at Proc. 5th Int. Congr. Pigments Foods: For Quality and Health, Aug., Helsinki, Finl, 14–16.
- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Esin, C.M., Bekyasiglu, S., Isil, B., Berker, K. y Özyurt, D. 2007. Comparative evaluation of various Total Antioxidant Capacity Assays Applied to Phenolic Compounds with the CUPRAC Assay. *Moleculares*, 12: 1496-1547.
- Ariza-Flores, R., Serrano-Altamirano, V., Navarro-Galindo, S., Ovando-Cruz, M. E., Vázquez-García, E., Barrios-Ayala, A., Michel-Aceves, A.C. Guzmán-Maldonado, S.H. y Otero-Sánchez, M.A. 2014. Variedades mexicanas de jamaica (hibiscus sabdariffa L.) alma blanca y rosáliz de color claro, y cotzaltzin y tecoanapa de color rojo. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(2): 181–185.
- Arner, P. y Eckel, R.H. 1998. Adipose tissue as storage organ. En: George A. Bray, Claude Bouchard, W.P.T. James, editores. *Handbook of Obesity*, 379-395.
- Ashwell M. 2005. Conceptos sobre Alimentos Funcionales. ILSI Europe Concise Monograph Series, ILSI Press.
- Astrid, G.G. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3): 27-36.
- Baynes, J.W. 1991. Role of oxidative stress in development of complications in diabetes. *Diabetes*, 40: 405-12.
- Beltrán, F., Bockholt, A. y Rooney, L. 2001. Blue corn in specialty corns. *Food Hydrocolloids*, 5: 455-467.
- Benavente-Garcia, O., Castillo, J., Marin, F.R., Ortuno, A. y Del Rio, J.A. 1997. Uses and properties of Citrus flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 4505-4515.

- Benavente-Garcia, O., Castillo, J., Marin, F.A., Ortuño, A., y Del Río, J.A. 1997. Uses and properties of citrus flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 4505–4515.
- Benoit, J.N. y Taylor, M.S. 1997. Vascular reactivity following ischemia/reperfusion. *Frontiers in Bioscience*, 2: 28-33.
- Block, G., Patterson, B. y Subar, A. 1992. Fruit, vegetables and cancer prevention: A review of the epidemiological evidence. *Nutrition and Cancer*, 18: 1–29.
- Bör, A., Borrego, F., Benavente, O., Castillo, J. y Del Rio, J.A. 1990. Neohesperidin dihydrochalcone: properties and applications. *Lebensm. Wissen. Technology*, 23: 371-376.
- Boudet, A.M. 2007. Evolution and current status of research in phenolic compounds. *Phytochemistry*, 68: 2722–2735.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., y Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT- Food Science and Technology*, 28(1): 25-30.
- Brennan, M.A., Derbyshire, E.J., Brennan, C.S. y Tiwari, B.K. 2012. Impact of dietary fibre-enriched ready-to-eat extruded snacks on the postprandial glycaemic response of non-diabetic patients. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56: 834–837.
- Brouillard, R. 1982. Chemical structure of anthocyanins. In *Anthocyanins as Food Colors*, ed. P Markakis, New York: Academic, pp. 1-40.
- Brownlee, M., Cerami, A. and Vlassala H. 1998. Advanced glycosylation endproducts in tissue and the biochemical basis of diabetic complications. En: Flier JS, ed. *Seminar in medicine of the Beth Israel Hospital*. Boston. 318(20): 1315-21.
- Brun, L.D., Dagne, C., Julien, P., Tremblay, A., Moorjani, S., Bouchard, C. y Lupien, P.J. 1989. Familial lipoprotein lipase-activity deficiency: study of total body fatness and subcutaneous fat tissue distribution. *Metabolism*, 38(10): 1005-1009.

- Bulger, E.M. y Maier, R.V. 2001. Antioxidants in critical illness. *Archives of Surgery*, 136:1201-1207.
- Burkitt, D.P. y Walker, A.R.P. 1974. Painter NS: Dietary fibre and disease. *JAMA*, 229: 1068-1074.
- Calabro, M.L., Galtieri, V., Cutroneo, P., Tommasini, S., Ficarra, P. y Ficarra, R. 2004. Study of the extraction procedure by experimental design and validation of a LC method for determination of flavonoids in Citrus bergamia juice. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 35: 349-363.
- Camacho, Pauline M. 2013. Endocrinología basada en la evidencia. 3ª edición. Wolters Kluwer Health España. Pp 235, 236, 238
- Camacho-Hernández, I.L., Navarro-Cortez, R.O., Aguilar-Palazuelos, E., Zazueta-Morales, J., Valenzuela, V.L. y Gallegos-Infante, J.A. 2011. Cambios de Color y Antocianinas en una Botana de Tercera Generación Elaborada por Extrusión a Partir de Harina de Maíz Azul y Almidón de Maíz. Escrito para la presentación del Simposium Internacional sobre Tecnologías Convencionales y Alternativas en el Procesamiento de Maíz, 90-98.
- Camire, M. E., Camire, A., Y Krumhar, K. 1990. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29(1): 35-57.
- Cao, G., Sofic, E., y Prior, R.L. 1997. Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: Structure-activity relationships. *Free Radical Biology and Medicine*, 22: 749–760.
- Chang-Che, C., Jeng-Dong, H., San-Fa, W., Huei-Ching, C., Mon-Yuan, Y., Erl-Shyh, K., Yung-Chyan, H. y Chau-Jong W. 2003. *Hibiscus sabdariffa* extract inhibits the development of atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 54: 5472-5477.
- Cherrington, A.D. 1997. Control of glucose uptake and release by the liver in vivo. *Diabetes*, 48: 1198–1214.

- Chiung-Huei, P., Charng-Cherng, C., Kuei-Chuan, C., Tsung-Hsien, C., Chau-Jong, W. y Chien-Ning, H. 2011. *Hibiscus sabdariffa* Polyphenolic Extract Inhibits Hyperglycemia, Hyperlipidemia, and Glycation-Oxidative Stress while Improving Insulin Resistance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 9901-9909.
- Christakis, G. 1970. Diabetes Mellitus. Theory and practice, McGraw-Hill, Nueva York, Pag. 596.
- Christian, K.R., y Jackson, J.C. 2009. Changes in total phenolic and monomeric anthocyanin composition and antioxidant activity of three varieties of sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) during maturity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22: 663-667.
- Cianflone, K., MASlowska, M. y Sniderman A.D. 1999. Acylation stimulating protein (ASP), an adipocyte autocrine: new directions. *Seminarios en Biología Celular y del Desarrollo*, 10(1): 31-41.
- Cianflone. K. y Maslowska, M.S. 1999. Acylation stimulating protein (ASP), an adipocyte autocrine: new directions. *Seminarios en Biología Celular y del Desarrollo*, 10: 31-41.
- Cinti S. 1999. Adipose tissue morphology: basic concepts and insights. En: Guy-Grand B, Ailhaud G, Editores. Progress in Obesity Research 8. London: John Libbey & Company Ltd, 3-12.
- Clifford M.N. 2000. Anthocyanins-nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 1063-72
- Consejo Europeo de Información sobre la Alimentación (EUFIC), Food Today 12/1998, www.eufic.org.
- Cotelle, N., Bernier, J.L., Catteau, J.P., Pommery, J., Wallet, J.C. y Gaydou, E.M. 1996. Antioxidant properties of hydroxyflavones. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(1): 35-43.
- Damasceno, D.C., Netto, A.O., Iessi, I.L., Gallego, F.Q., Corvino, S.B., Dallaqua, B. Sinzato, Y.K. Bueno, A. Calderon, I.M.P. y Rudge, M.V. C.2014. Streptozotocin-Induced Diabetes Models: Pathophysiological

- Mechanisms and Fetal Outcomes. BioMed Research International, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/819065>.
- Damasceno, D.C., Sinzato, Y.K., Bueno, A., Netto, A.O., Dallaqua, B., Gallego, F.Q., Iessi, I.L., Corvino, S.B., Serrano, R.G., Marini, G., Piculo, F., Calderon, I.M.P. y. Rudge M.V.C. 2013. Mild diabetes models and their maternal-fetal repercussions. *Journal of Diabetes Research*, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/473575>
- Davis, F.S. y Albrigo, L.G. 1994. Citrus. In: Crop Production Science in Horticulture Series, CAB International, Wallington. pp.134-135.
- De la Parra, C., Serna, S. y Hai, L. 2008. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of production of masa tortillas and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 4177-4183.
- Deitel, M. 2003. Overweigh and obesity worldwide now estimated to involve 1,7 billion people. *Obesity Surgery*,13: 329-330.
- Delgado-Vargas, F., and Paredes-Lopez, O. 2003. Anthocyanins and betalains. In Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses, eds. F Delgado-Vargas, O Paredes-Lopez, Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 167–219.
- Dentin, R., Liu, Y., Koo, S.H., Hedrick, S., Vargas, T., Heredia, J., Yates, J., and Montminy, M. 2007. Insulin modulates gluconeogenesis by inhibition of the coactivator TORC2. *Nature*, 449: 366–369.
- Di-Majo, D., Giammanco, M., La Guardia, M., Tripoli, E., Giammanco, S., and Finotti, E. 2005. Flavanones in Citrus fruit: Structure-antioxidant activity relationships. *Food Research International*, 38: 1161-1166.
- Dlamini, N.R., Taylor, J.R.N., and Rooney, L. W. 2007. The effect of sorghumtype and processing on the antioxidant properties of african sorghum-based foods. *Food Chemistry*, 105(4): 1412-1419.
- DRI. 2005. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients), Estados Unidos.

- Durst, R., and Wrolstad, R. E. 2001. Separation and Characterization of Anthocyanins by HPLC. In: Handbook of Food Analytical Chemistry. New Jersey: John Wiley & Sons, pp. 33-45.
- Ebrahimzadeh, M.A., Hosseinimehr, S.J., and Gayekhlou, M.R. 2004. Measuring and comparison of vitamin C content in citrus fruits: introduction of native variety. *Chemistry: An Indian Journal*, 1(9): 650-652.
- Eder R. 2000. Pigments. In Food Analysis by HPLC, ed. LML Nollet, Monticello, NY: Marcel Dekker, pp. 845–80.
- Elangovan, V., Sekar, N. y Govindasamy, S. 1994. Chemoprotective potential of dietary bipoflavonoids against 20-methylcholanthrene-induced tumorigenesis. *Cancer Letters*, 87: 107-113.
- Escudero, A.E., y González, S.P. 2006. La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21(2): 61-72.
- Falk, M. 2004. The impact of regulation on informing consumers about the health promoting properties of functional foods in the U.S.A. *Journal of Food Science*, 69(5): 143-145.
- Fernández-Arroyo, S., Rodríguez-Medina, I., Beltrán-Debón, R., Pasini, F., Joven, G., Micol, V. Segura-Carretero, A. y Fernández-Gutiérrez, A. 2011. Quantification of the polyphenolic fraction and in vitro antioxidant and in vivo anti-hyperlipemic activities of *Hibiscus sabdariffa* aqueous extract. *Food Research International*, 44: 1490-1495.
- Fernandez-Lopez, J., Zhi, N., Aleson-Carbonell, L., Perez-Alvarez, J.A. y Kuri, V. 2005. Antioxidant and antibacterial activities of natural extracts: application in beef meatballs. *Meat Science*, 69: 371-380.
- Flegal, K.M., Carroll, M.D., Ogden, C.L. y Curtin, L.R. 2010. Prevalence and trends in obesity among US adults, 1990-2008, *JAMA*, 303(3): 235-241.
- Fox, B. y Cámeron, A. 2002. Ciencia de los alimentos, nutrición y salud. México, D.F. 170-177.
- Franco, M. L., Calixto, S. F., Witting de Penna, E. y Wenzel de Menezes, E. 2001. Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y Salud; obtención,

- caracterización, efectos fisiológicos y aplicación en los alimentos. Sao Paulo, Brasil, pp. 375, 377, 379.
- Galarza, J.M. 2011. Situación actual y perspectivas del maíz en México. SIAP.
- Galen, M.P., Siebeneich, W., Roza, A.M., Jordan, M. y Adams, M.B. 1996. Chronic treatment in vivo with dimethylthiourea, a hydroxyl radical scavenger, prevents diabetes-induced endothelial dysfunction. *Journal Cardiovascular Pharmacology*, 28(6): 741-745.
- Ghasemi, K., Ghasemi, Y. y Ebrahimzadeh, M.A. 2009. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. Pakistan. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 22: 277–281.
- Ghiselli A., Nardini M., Baldi A. y Scaccini C. 1998. Antioxidant activity of different phenolic fractions separated from an Italian red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(2): 361-367.
- Ghosh, D. y Konishi, T. 2007. Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts: role in diabetes and eye function. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16(2): 200-208.
- González, A.U. 1995. El maíz y su conservación. Editorial Trillas. Mexico, D.F.
- Goodner K L., Rouseff R.L., Hofsommer H.J. 2001. Orange, mandarin, and hybrid classification using multivariate statistics based on carotenoid profiles. *The Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49(3): 1146-1150
- Guilherme, A., Virbasius, J.V. y Czech, M.P. 2008. Adipocyte dysfunctions linking obesity to insulin resistance and tipe 2 diabetes. *Nature Review, Molecules Cell Biology*, 9(5): 367-377.
- Ha, M.A., Jarvis, M.C., y Mann, J.L. 2000. A definition for dietary fibre. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54: 861-864.
- Halliwell, B. 1997. Antioxidants and human disease: a general introduction. *Nutrition Review*, 55: S44-S52.
- Hanhineva, K., Törrönen, R., Bondia-Pons, I., Pekkinen, J., Kolehmainen, M., Mykkänen H. y Poutanen, J. 2010. Impact of Dietary Polyphenols on Carbohydrate Metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 11: 1365-1402.

- Hasler, C.M. 2002. Functional foods: benefits, concerns and challenges (A position paper from the American Council on Science and Health). *The Journal of Nutrition*, 132(12): 3772-3781.
- Hasler, C.M., Bloch, A.S., Thomson, C.A., Enrione, E. y Manning, C. 2004. Position Paper of the American Dietetic Association: Functional Foods. *Journal of the American Dietetic Association*, 104(5): 814-826.
- Hernández, M.R. (1999). Morphological and biochemical effects of a low ethanol dose on rat liver regeneration. *Digestive Diseases and Sciences*, 44(10):1963-1974.
- Herrera-Arellano, A., Flores-Romero, S., Chavez-Soto, M.A. y Tortoriello, J. 2004. Efectivos a tolerability of a standarized extract from hibiscus sabdariffa in patients with mild moderate hypertension: a controlled and randomized clinical trial. *Phytomedical*,11: 375-382.
- Hertog, M.G.L., Feskeens, E.J.M., Holmann, C.H., Katan, M.B. y Kromhout, D. 1993. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: The Zutphen elderly study. *Lancet*, 342: 1007-1011.
- Holben, D.H. y Smith, A.M. 1999. The diverse role of selenium within selenoproteins: a review. *Journal of the American Dietetic Association*, 99: 836-843.
- Horowitz, R.M. y Gentili, B. 1969. Taste and structure in phenolic glucosides. *The Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 17(4): 696-700.
- Hoseney, R.C. 1991. El almidon de los cereals. E: Hoseney, R. C. Ed. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Barcelona:Reverté. pp. 32-65
- Huang, G.D., Ou, B., y Prior, R.L. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 1841–1856.
- Huet, R. 1982. Constituants des agrumes a`effet pharmacodynamique: les citroflavonoïdes (Constituents of citrus fruits with pharmacodynamic effect: citroflavonoids). *Fruits*, 37: 267-271.

- Hursel, R. y Westerterp-Plantenga, M.S. 2010. Thermogenic ingredients and body weight regulation. *International Journal of Obesity*, 34: 659-669.
- Inglett, E. 1970. Kernel structure, composition and quality. In: Corn; culture processing, products. Inglett, E.G. (ed). The Avi publishing Co., Inc Estados Unidos, pp. 123-134
- Jayaprakasha, G.K. y Patil, B.S. 2007. *In vitro* evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. *Food Chemistry*, 101: 410-418.
- Jiménez-Vera, R., Corona-Cruz, A., González-Cortés, N. y Magaña-Contreras, A. 2010. Propiedades funcionales de la fibra de naranja. XII congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos, FH91-14.
- Jung, U.J., Lee, M.K., Jeong, K.S. y Choi, M.S. 2004. The hypoglycemic effects of hesperidin and naringin are partly mediated by hepatic glucose-regulating enzymes in C57BL/KsJ-db/db mice. *The Journal of nutrition*, 134(10): 2499-2503.
- Jung, U.J., Lee, M.K., Park, Y.B., Kang, M.A. y Choi, M.S. 2006. Effect of citrus flavonoids on lipid metabolism and glucose-regulating enzyme mRNA levels in type-2 diabetic mice. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 38(7): 1134-1145.
- Junod, A., Lambert, A., Stauffacher, W. y Renold, A. 1969. Diabetogenic action of streptozotocin: Relationship of dose to metabolic response. *The Journal Clinical Investigation*, 48(11): 2129-39.
- Kakkar, R., Kalra, J. y Mantha, S.V. 1995. Lipid peroxidation and activity of antioxidant enzymes in diabetic rats. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 151(2): 113-119.
- Kaufer, M., Tavano, L., y Ávila, H. 2001. Obesidad en el adulto. Casanueva E., Kaufer, M., Pérez, A., y Arroyo, P. Nutriología Médica, México, Editorial Médica Panamericana. 515-528.
- Kehrer, J.P. 1993. Free radicals as mediators of tissue injury and disease. *Critical Reviews in Toxicology*, 23(1): 21-48.

- Kessebah, A.H. y Krakower, G.R. 1994. Regional adiposity and morbidity. *Physiological Reviews*, 74: 761-811.
- Kim, J.L., So, J., Youn, M.J., Kim, H.J., Kim, Y. y Park, R. 2007. *Hibiscus sabdariffa* L. water extract inhibits the adipocyte differentiation through the PI3-K and MAPK pathway. *Journal of Ethnopharmacology*, 114: 260–267.
- Kiokias, S., Varzakas, T., y Oreopoulou, V. 2008. *In vitro* activity of vitamins, flavanoids, and natural phenolic antioxidants against the oxidative deterioration of oil-based systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48: 78–93.
- Kissebah, A.H. y Krakower, G.R. 1994. Regional adiposity and morbidity. *Physiological Reviews*, 74: 761-811.
- Kraft, T. 2008. Phytochemical composition and metabolic performance enhancing activity of dietary berries. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 26: 654-660.
- Kroyer, G.U. 1986. ber die antioxidative Aktivität von Zitrusfruchtschalen (Antioxidant activity of citrus peels). *Z. Ernährungswiss*, 25: 63-69.
- Ku, V.J.C., Nazar, B.H. y Alfaro, R.M.A., 1993. Utilización de pulpa deshidratada de cítricos en la alimentación de los rumiantes. *Revista Biotam*, 5(1): 1-5.
- Kwon, S-H., Ahn, I-S., Kim, S-O., Kong, C-S., Chung H-Y., Do, M-S. y Park, K-Y 2007. Anti-obesity and hypolipidemic effects of black soybean anthocyanins. *Journal of Medicinal Food*, 10(3): 552-556.
- Lam, T.K., Poci, A., Gutierrez-Juarez, R., Obici, S., Bryan, J., Aguilar-Bryan, L., Schwartz, G.J. y Rossetti, L. 2005. Hypothalamic sensing of circulating fatty acids is required for glucose homeostasis. *Nature Medicine*, 11(3): 320–327.
- Larson, R.A. 1988. The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry*, 27: 969-978.
- Lavin, N. 2010. Manual de endocrinología y metabolismo. 4ª edición. Wolters Kluwer Health. Barcelona España. Pp 535-542.

- Lee, W.K., y Lee, H.J. 2006. The roles of polyphenols in cáncer chemoprevention. *Biofactors (Oxford, England)*, 26: 105–121.
- Liu, H.R. 2007. Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46: 207-219.
- Liu, R.H. 2004. Potential synergy of phytochemicals in cáncer prevention: Mechanism of action. *The Journal of Nutrition*, 134: 3479S–3485S.
- Liu, S., Manson, J.E., Lee, I.M., Cole, S.R., Hennekens, C. H., Willett, W.C., y Buring, J.E. 2000. Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular heart disease: The women's health study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 72: 922–928.
- López-Alonso, M., Miranda, M., Hernández, J., Castillo, C. y Benedito, J.L. 1997. Glutación peroxidasa en las patologías asociadas a deficiencias de selenio en rumiantes. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 29(2): 171-179.
- Lunec J. 1996. Oxidative stress and antioxidants. Proceedings of the VIIIth Congress of the International Society for Animal Clinical Biochemistry; 2-6 July 1996; Glasgow (UK). Glasgow (UK): University of Glasgow, 45.
- Lynon, H.N. y Hirschhorn, J.N. 2005. Genetics of common forms of obesity: A brief overview. *American Journal Clinical Nutrition*, 82(1): 215S-217S.
- Manisha, C.M.D., Abhimanyu, G.M.D., Dieter L.Ph.D., Klaus von, B.M.D., Scott, M., Grundy, M.D., Ph.D. y Linda, J.B.R.D. 2000. Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 diabetes mellitus. *The New England Journal of Medicine*, 342(19): 1392-1398.
- Manthey, J.A., y Grohmann, K. 1996. Concentrations of Hesperidin and Other Orange Peel Flavonoids in Citrus Processing Byproducts. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44(3): 811-14.
- Marlett, J. 2003. "Position of the American Dietetic Association Health implication of dietary fiber". *Journal of the American Dietetic Association*, (102): 993-100.
- Martín, F.R., Frutos, M.J., Perez-Alvarez, J.A., Martínez- Sanchez, F. y Del Río J.A. 2002. Flavonoids as nutraceuticals: structural related antioxidant properties and their role on ascorbic acid preservation. In: Atta- Ur-

- Rahman (editor), *Studies in natural products chemistry* Elsevier Science. Amsterdam, pp.324-389.
- Mazza, G. 2000. Alimentos funcionales, aspectos bioquímicos y de proceso. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 46: 68-73.
- Méndez, G., Solorza, J. y Paredes O. 2005. Composición química y colorimétrica de híbridos y variedades de maíz. *Revista Agrociencia*, 39: 267-274.
- Meydani, M. y Hasan, S. T. 2010. Dietary polyphenols and obesity. *Nutrients*, 2: 737-751.
- Miller, J.K., Brzezinska-Slebodzinska, E. y Madsen, F. C. 1993. Oxidative stress, antioxidants, and animal function. *Journal of Dairy Science*, 76(9): 2812-2823.
- Miyazawa, T., Nakagawa, K., Kudo, M., Muraishi, K. y Someya, K. 1999. Direct intestinal absorption of red fruit anthocyanins, cyaniding-3-glucoside and cyaniding-3,5-diglucoside, into tracts and humans. *The Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47:1083-1091.
- Mohamed, B.B., Sulaiman, A.A. y Dahab, A.A. 2012. Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Sudan, Cultivation and Their Uses. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 1(6): 48 – 54.
- Montalvo-Arenas, C. E. 2010. Técnica Histológica. 1-12.
- Morales, G.J., Gutiérrez, S.J., Yáñez, L., Villagómez, R.C., Badillo, R.J., y Mora-Rochin, S., Gutiérrez-Urbe, J.A., Serna-Saldivar, S.O., Sánchez-Peña, P., Reyes-Moreno, C. y Milán-Carrillo, J. 2010. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 52: 502-508
- Mouly, P.P., Arzouyan, C.R., Gaydou, E.M. y Estienne, J.M. 1994. Differentiation of citrus juices by factorial discriminant analysis using liquid chromatography of flavonone glycosides. *The Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42: 70-79.

- Mozaffari-Khosravi, H., Beman-Ali, J-K.i, Mohammad, A-A. y Farhad F. 2009. Effects of Sour Tea (*Hibiscus sabdariffa*) on Lipid Profile and Lipoproteins in Patients with Type II Diabetes. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 15: 899–903.
- Navarro C. 2010. Caracterización fisicoquímica y estructural de botanas de tercera generación elaboradas a partir de harina de maíz (*Zea mays* L.) azul utilizando la tecnología de extrusión. Universidad Autónoma de Sinaloa. Tesis de maestría.
- Navarro Cortez, R.O., Gómez-Aldapa, C.A., Aguilar-Palazuelos, E., Delgado-Licon, E., Castro Rosas, J., Hernández-Ávila, J., Solís-Soto, A., Ochoa-Martínez, L.A., y Medrano-Roldán, H. 2016. Blue corn (*Zea mays* L.) with added orange (*Citrus sinensis*) fruit bagasse: novel ingredients for extruded snacks. *CyTA-Journal of Food*, 14(2): 349-358.
- Navarro-Cortez, R.O., Gómez-Aldapa, C.A., Medrano-Roldan, H., Aguilar-Palazuelos, E., Delgado-Licon, E., Castro-Rosas, J. y Román-Gutiérrez A. 2013. Efecto del Contenido de Bagazo de Naranja Sobre el Índice de Expansión y Estructura de Botanas Extrudidas de Maíz Azul Directamente Expandidas. *Biotechnología y Alimentos; Temas Desarrollados por los Cuerpos Académicos de las IES del Estado de Hidalgo*. 27-34.
- Nestec, L. 1997. Functional foods. *Cancer Letters*, 114: 59-63.
- Odigie, I.P., Ettarh, R.R. y Adigun, S.A. 2003. Chronic administration of aqueous extract of hibiscus sabdariffa attenuates hypertension and reverses cardiac hypertrophy in 2K-1 hypertensive rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 86: 181-185.
- Ogden, C. y Carroll, M. 2010. Prevalence of obesity among Children and Adolescents: United States, Trends 1963-1965 Through 2007-2008, Division of Health and Nutrition, Examination Surveys, 1-5.
- Ortiz-Marquez, S. 2008. Composición en macronutrientes, minerales y metales pesados en cálices de Jamaica cultivada en el estado Monagas. *Tecnología y pensamiento*, 3(1-2): 61-75.

- Paredes-López, O., Bello-Perez, L.A. y López, M.G. 1994. Amylopectin: Structural gelatinización and retrogradation studies. *Food Chemistry*, 50: 411-418.
- Paredes-López, O., Guevara-Lara F. y Bello-Pérez, L.A. 2006. Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. Fondo de cultura económica, México.
- Peng, C-H., Chyau, C-C., Chan, K-C., Chan, T-H., Wang, C-J., y Huang, C-N. 2011. Hibiscus sabdariffa Polyphenolic Extract Inhibits Hyperglycemia, Hyperlipidemia, and Glycation-Oxidative Stress while Improving Insulin Resistance. *The Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 59: 9901–9909.
- Pilkis, S.J. y Claus, T.H. 1991. Hepatic gluconeogenesis/glycolysis: Regulation and structure/function relationships of substrate cycle enzymes. *Annual Review of Nutrition*, 11: 465–515.
- Pocai, A., Lam, T.K., Gutierrez-Juarez, R., Obici, S., Schwartz, G.J., Bryan, J. y Aguilar-Bryan, L. 2005. Rossetti, L. Hypothalamic K(ATP) channels control hepatic glucose production. *Nature*, 434: 1026–1031.
- Postic, C. y Girard, J. 2008. Contribution of de novo fatty acid synthesis to hepatic steatosis and insulin resistance: Lessons from genetically engineered mice. *The Journal of Clinical Investigation*, 118(3): 829 - 838.
- Pratt, D.E. y Hudson, B.J.F. 1990. Natural antioxidants not exploited commercially. In *Food Antioxidants*; Hudson, B. J. F., Ed.; Elsevier: New York; pp 171-192.
- Prenci, E., Berto, S., Daniele, P.G. y Toso, S. 2007. Antioxidant power quantification of decoction and cold infusions of *Hibiscus sabdariffa* flowers. *Food Chemistry*, 100: 433-438.
- Prior, R.L., Wu, X., Gu, L., Hager, T.J., Hager, A. y Howard, L.R. 2008. Whole berries versus berry anthocyanins: interactions with dietary fat levels in the C57BL/6J mouse model of obesity. *The Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56: 647–53

- Proxy, L. 2001. What is Dietary Fibre! A New Look at the Definition. Advanced Dietary Fibre Technology. Barry V McCleary and Leon Prosky. London. Pp. 69.
- Purushotham, A., Tian, M. y Belury, M.A. 2009. The citrus fruit flavonoid naringenin suppresses hepatic glucose production from Fao hepatoma cells. *Molecular Nutrition Food Research*, 53(2): 300–307.
- Ramírez-Rodríguez, M.M., Plaza, M. L., Azeredo, A., Balaban, M.O. y Marshall, M. R. 2011. Physicochemical and phytochemical properties of cold and hot water extraction from Hibiscus sabdariffa. *Journal of Food Science*, 76(3): 428-435.
- Ramirez-Tortosa, C., Andersen, Ø.M., Gardner, P.T., Morrice P.C., Wood S.G., Duthie, S.J., Collins, A.R. y Duthie, G.G. 2001. Anthocyanin-rich extract decreases indices of lipid peroxidation and DNA damage in vitamin E-depleted rats. *Free Radical Biology and Medicine*, 31(9): 1033–37.
- Re, R., Pellegrini, N., Pro-Teggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. 1999. “Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26: 1231-1237.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., de La Cruz, A.A., Alvarez, J.C.I., y Kallio, H. 2009. Chemical and functional characterization of kaiwa (*Chenopodium pallidicaule*) grain, extrudate and bran. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(2): 94-101.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Pena, J., Kallio, H., y Salminen, S. 2009. Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 49(2): 219-224.
- Reyes, C.P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT (Ed). S.A., 1º Edición. Mexico D.F.
- Reyes-Luenga, A., Salinas-Moreno, Y., Ovando-Cruz, M.E., Arteaga-Garibay R. I. y Martínez-Peña. M.D., 2015. Análisis de ácidos fenólicos y actividad antioxidante de extractos acuosos de variedades de jamaica (*hibiscus sabdariffa* l.) con cálices de colores diversos. *Agrociencia*, 49: 277-290.

- Reyes-Moreno, C. y Milán-Carrillo, J. 2010. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 52: 502-508.
- Reynisdottir, S., Wahrenberg, H., Carlstrom, K., Rossner, S. y Arner P. 1994. Catecholamine resistance in fat cells of women with upper-body obesity due to decreased expression of beta 2-adrenoceptors. *Diabetologia*, 37: 428-35.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Bolwell, P. G., Bramley, P.M. y Pridham, J.B. 1995. The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Research*, 22: 375–383.
- Rivera, J.A., M. S., PhD., Muñoz-Hernández, O., Rosas-Peralta, M., Aguilar-Salinas, C.A., Popkin, B.M., PhD, Willett, W.C., MD, Dr.PH. 2008. Consumo de bebidas para una vida saludable: recomendaciones para la población mexicana. *Salud Publica Mexicana*, 50: 1:73-195.
- Roberfroid, M.B. 1999. What is beneficial for health. The concept of functional food. *Food Chemistry*, 37: 1039-1041.
- Rodríguez-Medina, I.C., Beltrán-Debón, R., Micol, V., Molina, V., Alonso-Villaverde, C., Joven, J.A. Menéndez, A. Segura-Carretero, A. y Fernández-Gutiérrez A. 2009. Direct characterization of aqueous extract of Hibiscus sabdariffa using HPLC with diode array detection coupled to ESI and ion trap MS. *Journal of Separation Science*, 32(20): 3441-3448.
- Romero, F.J., Bosch-Morell, F., Romero, M.J., Jareño, E.J., Romero, B., Marin, N. y Roma J. 1998. Lipid peroxidation products and antioxidants in human disease. *Environmental Health Perspectives*, 106(Suppl 5): 1229-1234.
- Rubino, F., Zizzaris, P., Tomassetto, C., Bluet-Pajot, M.T., Forgione, A., Groselle, D., y Marescaux, J. 2005. The role of the small bowel in the regulation of circulating ghrelin levels and food intake in the obese Zucker rats. *Endocrinology*, 146(4): 1745-1751.

- Sagarpa-Conacyt, 2010. Fondo sectorial de investigación en materia agrícola, pecuaria, acuacultura, agrobiotecnología y recursos filogenéticos.
- Salinas, M.Y. 2000. Antocianinas en el grano de maíces criollos mexicanos. Tesis de doctorado. Colegio de posgraduados de montecillo, México.
- Salinas-Moreno, Y., Zúñiga-Hernández, A.R.E., Jiménez-De la Torre, L.B., Serrano-Altamirano, V. y Sánchez-Feria, C. 2012. Color en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y su relación con características fisicoquímicas de sus extractos acuosos. *Revista Chapingo Serie Hortícola* 18: 395-407.
- Sang, S., Lapsley, K., Rosen, R.T., y Ho, C.-T. 2002. New prenylated benzoic acid and other constituents from almond hulls (*Prunus amygdalus* Batsch). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 607–609.
- Sáyago-Ayerdi S. G., Arranz, S., Serrano, J. y Goñi, I. 2007. Dietary fiber content and associated antioxidant compounds in roselle flower (*H. sabdariffa* L.) beverage. *The Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55: 7786-7890.
- Scalbert, A. y Williamson, G. 2000. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *Journal of Nutrition*, 130:2073S–2085S.
- Shahidi, F. 2004. Functional foods: their role in health promotion and disease prevention. *Journal of Food Science*, 69(5): 146-149.
- Shahidi, F. y Finley, J.W. 2001. Omega-3 fatty acids: Chemistry, nutrition and health effects. ACS Symposium Series 788. Washington, D.C. American Chemical Society.
- Shahidi, F. y Ho C-T. 2000. Phytochemicals and phytopharmaceuticals. Champaign, IL: ACS Press.
- Shahidi, F., and M. Naczk. 2004. Phenolic compounds in fruits and vegetables. In: Shahidi, F., and M. Naczk (eds). Phenolics in Foods and Nutraceuticals. CRC Press. pp: 131-239.
- Shahidi, F., y Naczk, M. 2004. Phenolics in food and nutraceuticals Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 1–558.
- Siap. 2014. Servicio de información de agroalimentaria y pesquera.

- Simó, C., Ibañez, E., Señorans, F.J., Barbas, C., Reglero, G. y Cifuentes. 2002. Analysis of Antioxidants from Orange Juice Obtained by Countercurrent Supercritical Fluid Extraction, using Micellar Electrokinetic Chromatography and Reverse Phase-HPLC. *The Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50: 6648-6652.
- Song, G. O., PhD, MPH, RD, Chun PhD, O. K., MPH, Obayashi, M. S. S., RD, Susan Cho, PhD. S. y Chung, PhD.C. E. 2005. Is consumption of breakfast associated with body mass index in US adults. *Journal American Dietetic Association*, 105(9):1373-1382.
- Srinivasan, K. y Ramarao, P. 2007. Animal models in type 2 diabetes research: An overview. *Indian Journal of Medical Research*, 125(3): 451-72.
- Stavric, B. 1993. Antimutagens and anticarcinogens in foods. *Food and Chemical Toxicology*, 32: 79-90.
- Stevens, J., Feldman, E.L. y Greene, D.A. 1995. Clinical management of diabetic neuropathy. *Clinical Management of Diabetic Neuropathy*, 12:566-79.
- Stewart, L.K., Wang, Z., Ribnicky, D., Soileau, J.L., Cefalu, W.T. y Gettys, T.W. 2009. Failure of dietary quercetin to alter the temporal progression of insulin resistance among tissues of C57BL/6J mice during the development of diet-induced obesity. *Diabetologia*, 52: 514–523.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., Ibanoglu, E., y Ibanoglu, S. 2008. Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded. *Journal of Food Engineering*, 87(4): 554 -563.
- Strack, D. y Wray, V. 1989. Anthocyanins. En *Methods in Plant Biochemistry*. Vol I. Plant Phenolics. H. B. Harbone (ed.), Academic Press, pp 325-356.
- Stunkard, A.J., M.D., Harris, J.R., Ph.D., Pedersen, N.L., Ph.D. y McClear, G.E. 1990. The body mass index of twins who have been reared apart. *New England Journal Medicine*, 322(21): 1483-1487.
- Styles, E. y Ceska, O. 1972. Flavonoid pigments in generic strains of maize. *Journal of Phytochemistry*, 11: 3019-3021.

- Su, M. y Chien, P. 2007 Antioxidant activity, anthocyanins and phenolics of blue corn (*Zea mays* L.). *Food Chemistry*, 104: 181-187.
- Sugimoto, E., Igarashi, K., Kubo, K., Molyneux, J. y Kubomura, K. 2003. Protective effects of boysenberry anthocyanins on oxidative stress in diabetic rats. *Food Science and Technology Research*, 9 (4): 345-349.
- Takeoka, G. y Dao, L. 2002. Anthocyanins. In *Methods of Analysis for Functional Foods and Nutraceuticals*, ed. W J Hurst, Boca Raton, FL: CRC, pp. 219–41.
- Tedesco, I., Russo, L.G., Nazzaro, F., Russo, M. y Palumbo R. 2001. Antioxidant effect of red wine anthocyanins in normal and catalase-inactive human erythrocytes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 12(9): 505–11.
- Timberlake, F. 2009. Anthocyanins occurrence, extraction and chemistry. *Food Chemistry*, 120: 69:80
- Trallero, C.R. 2002. La fibra en el tratamiento de la obesidad y sus comorbilidades. *Nutrición Hospitalaria*, 17(Sup. 1):17-22.
- Tsai, P.J., McIntosh, J., Pearce, P., Camden, B. y Jordan, B.R. 2002 Anthocyanin and antioxidant capacity in roselle (*hibiscus sabdarifa*) extract. *Food Research International*, 35(4): 351-356.
- Tsuda T. 2008. Regulation of adipocyte function by anthocyanins; possibility of preventing the metabolic syndrome. *The Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56: 642–46.
- Tsuda, T., Horio, F. y Osawa, T. 2000. The role of anthocyanins as an antioxidant under oxidative stress in rats. *BioFactors*, 13(1-4): 133–139.
- Tsuda, T., Horio, F., Uchida, K., Aoki, H. y Osawa, T. 2003. Dietary cyanidin 3-O-beta-D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *The Journal of Nutrition*, 133(7): 2125–30
- Van Dam, P.S., Bravenboer, B., Van Asbeck, B.S., Van Oirschot, J.F.L.M., Marx, J.J.M. y Gispen, W.H. 1996. Effects of insulin treatment on endoneurial and systemic oxidative stress in relation to nerve conduction

- in streptozotocin-diabetic rats. *European Journal Clinical Investigation*, 26(12): 1143-1149.
- Walsh, D.M., Kennedy, D.G., Goodall, E.A. y Kennedy, S. 1993. Antioxidant enzyme activity in the muscles of calves depleted of vitamin E or selenium or both. *British Journal of Nutrition*, 70(2): 621-630.
- Wang, H., Cao, G. y Prior, R.L. 1997. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *The Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45: 304–309.
- Wang, S.Y. y Jiao, H. 2000. Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals and singlet oxygen. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 48: 5677-5684.
- Wang, S.Y. y Lin, H.S. 2000. Antioxidant activity in fruit and leaves of blackberry, raspberry and strawberry is affected by cultivar and maturity. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 48: 140-146.
- Wellhausen. E.J., Roberts, L.M., Hernandez, X.E. y Mangelsdorf, P.C. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. In: Xolocatzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. *Revista de Geografía Agrícola*, 2: 609-732.
- Wen-Chin, L., Chau-J, W., Yu-Hsin, C., Jen-Dong, H., Su-Ya, C., Hong-Chen, C. y Huei-Jane, L. 2009. Polyphenol Extracts from *Hibiscus sabdariffa* Linnaeus Attenuate Nephropathy in Experimental Type 1 Diabetes. *Journal. Of Agriculture and Food Chemistry*, 57: 2206–2210
- Wichtel, J.J. 1998. A review of selenium deficiency in grazing ruminants. Part 1: new roles for selenium in ruminant metabolism. *The New Zealand Veterinary Journal*, 46: 47-52.
- Wolfram, S., Readerstorff, D., Wang, Y., Teixeira, S., Elste, V. y Weber, P. 2005. TEAVIGO (epigallocatechingallate) supplementation prevents obesity in rodents by reducing adipose tissue mass. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 49: 54-63.
- Yu, B.P. 1994. Cellular defenses against damage from reactive oxygen species. *Physiological Reviews*, 74:139-162.

Efecto de la ingesta de una bebida de jamaica y de una botana funcional a base de naranja y maíz azul en ratas Wistar inducidas a diabetes tipo II

Yúfera, P. 1998. Química de los Alimentos, colección: Tecnología Bioquímica y los Alimentos. Editorial Acribia. Madrid España. 233-272.