



**Centro de Investigación en Alimentación
y Desarrollo, A. C.**

**EFFECTO DE LA PRESENCIA DE FIBRA DIETARIA SOBRE EL
POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE LOS COMPUESTOS
FENÓLICOS DE EXTRACTOS DE FRUTAS TROPICALES**

PRESENTADA POR:

ANA ELENA QUIRÓS SAUCEDA

TESIS APROBADA POR LA:

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

HERMOSILLO, SONORA

AGOSTO DEL 2012

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para revisar la tesis de la I.B. Ana Elena Quirós Saucedo, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



Dr. Gustavo A. González Aguilar
Director de Tesis



Dr. J. Fernando Ayala Zavala

Sañudo Barajas J. Adriana

Dra. J. Adriana Sañudo Barajas

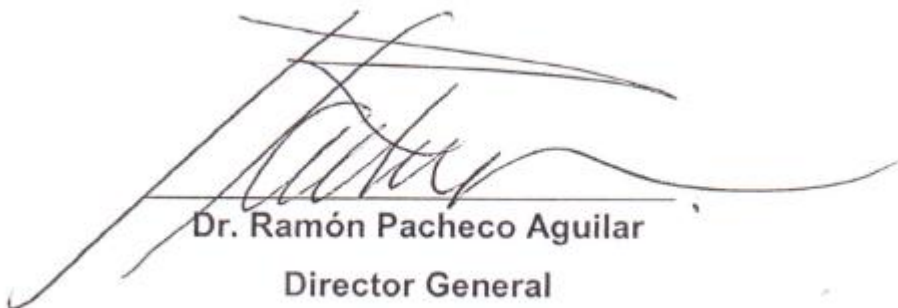


Dra. Rosario Maribel Robles Sánchez

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en esta tesis es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la producción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del Director General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.



Dr. Ramón Pacheco Aguilar
Director General

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de posgrado.

Al **Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.** por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría y permitirme alcanzar una meta más dentro de mi formación personal y profesional.

A la **Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal**, por brindarme sus instalaciones para llevar a cabo la realización de este trabajo.

A mi **Director de Tesis, Dr. Gustavo A. González Aguilar** por haber confiado en mí desde el inicio. Agradezco su dedicación profesional, aportaciones teóricas, experiencias y consejos en torno a la investigación.

A mi **Comité de Tesis** integrado por el **Dr. J. Fernando Ayala Zavala, Dra. Rosario Maribel Robles Sánchez y Dra. Adriana Saludo Barajas**, por su apoyo, dedicación y guía durante la culminación de este trabajo.

Al equipo de trabajo y personal del **Laboratorio de Antioxidantes y Alimentos Funcionales, QB. Mónica Villegas Ochoa y al M.C. Reynaldo Cruz Valenzuela**, por la capacitación y apoyo técnico, además de la amistad brindada.

A **Rosabel Vélez y René Valenzuela** por el apoyo técnico recibido.

A mis **compañeros de laboratorio, Hugo Palafox, Gustavo Velderrain, Mayra Salmerón, Joana Gil y José Villa** además de todos los **chicos del Laboratorio de Tecnologías Emergentes**; gracias por su amistad y hacer más amena esta travesía.

DEDICATORIA

*A **Dios**, porque siempre va conmigo en cada paso que doy.*

*A mis padres, **Elvia y Fernando**, por ser ustedes el pilar de mi vida. Por estar siempre cerca de mí compartiendo las experiencias más importantes de mi carrera. Porque gracias a su apoyo he alcanzando mis metas. Ustedes, que sin esperar nada, me dan todo. Por todo esto, quiero que sientan que el objetivo logrado también es suyo y que la fuerza que siempre me impulsa a conseguirlo, es su amor y dedicación. Con mucho amor y admiración. Los amo.*

*A mis hermanos, **Fernando y Adrián**, porque siempre han sido y serán parte fundamental en mi vida. Por estar siempre cerca de mí compartiendo los mejores momentos. Los quiero y admiro hermanos.*

*A ti **Alan**, mi fiel compañero, porque siempre vas conmigo de la mano, superando todas las metas, buscando y alcanzando esos sueños. Gracias por ser siempre tú y permanecer a mi lado. Con todo mi amor.*

*A mi **familia y amigos**, porque siempre me brindan su apoyo y me regalan los mejores momentos de mi vida.*

Ana Elena

CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	3
Frutas tropicales	3
Composición química	3
Fisiología de frutas tropicales climatéricas y no climatéricas	5
Importancia económica	7
Impacto en la salud	8
Compuestos fenólicos y potencial antioxidante	10
Fibra dietaria en frutas tropicales.....	11
Asociación de fibra dietaria y compuestos fenólicos en frutas tropicales	15
Interacciones entre fibra dietaria y compuestos fenólicos	17
Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria.....	20
Propiedades de los compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria.....	24
HIPÓTESIS.....	27
OBJETIVOS.....	27
Objetivo general.....	27

Objetivos específicos.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
Materia prima.....	29
Fibra dietaria de frutas tropicales.....	29
Extracción de fibra dietaria	29
Caracterización química de sólidos insolubles en alcohol (SIA).....	30
Fibra dietaria total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI)	30
Ácidos urónicos (pectinas) y azúcares totales	30
Almidón	31
Azúcares neutros y celulosa	32
Extractos metanólicos de frutas tropicales.....	33
Preparación de extractos metanólicos.....	33
Determinación de compuestos fenólicos	33
Fenoles totales.....	33
Flavonoides totales	34
Capacidad antioxidante	34
DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo)	34
TEAC (Capacidad antioxidante equivalente en trolox).....	34
ORAC (Capacidad de absorbanza de radicales oxígeno).....	35
Efecto de la fibra dietaria sobre el potencial antioxidante de extractos metanólicos de frutas tropicales	36
Incubación de sólidos insolubles en alcohol (SIA) y extractos metanólicos de frutas tropicales	36
Dinámica de interacción	36
Incubación de extractos metanólicos y fibras purificadas (celulosa y pectina).....	37
Análisis estadístico	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
Obtención y caracterización de sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales	38
Fibra dietaria total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI)	41

Ácidos urónicos, azúcares totales, almidón, celulosa y azúcares neutros	43
Extractos metanólicos de frutas tropicales	48
Compuestos fenólicos	48
Capacidad antioxidante	51
Efecto de la adición de sólidos insolubles en alcohol (SIA) sobre el potencial antioxidante y compuestos bioactivos de extractos fenólicos de frutas tropicales	54
Capacidad antioxidante	54
Compuestos fenólicos	57
Dinámica de interacción	60
Incubación de extractos metanólicos y fibras purificadas (celulosa y pectina)	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Polisacáridos que conforman a la (a) fibra dietaria soluble (FDS) y (b) fibra dietaria insoluble (FDI)	12
2. Atrapamiento físico (a) e interacciones fisicoquímicas (b) entre fibra dietaria y compuestos fenólicos	18
3. Tipos de interacciones fisicoquímicas entre compuestos fenólicos y fibra dietaria	19
4. Atrapamiento físico de compuestos fenólicos mediante la formación de fibras compactas de celulosa	21
5. Biodisponibilidad de compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria	23
6. Sólidos insolubles en alcohol (SIA) de piña cv. 'Esmeralda', mango cv. 'Haden', papaya cv. 'Maradol', guayaba cv. 'Hawaiiana blanca' y trigo.....	39
7. Ensayo para la detección de gránulos de almidón en los sólidos insolubles en alcohol (SIA) de piña cv. 'Esmeralda', mango cv. 'Haden', papaya cv. 'Maradol' y guayaba cv. 'Hawaiiana blanca' a 40 x	45

8. Capacidad antioxidante (DPPH) de extractos metanólicos de frutas tropicales con la adición de 300 mg de sólidos insolubles en alcohol de frutas tropicales (SIAF) y sólidos insolubles en alcohol de trigo (SIAT). CE=0.033 mg/mL.	55
9. Contenido de fenoles totales de extractos metanólicos de frutas tropicales con la adición de 300 mg sólidos insolubles en alcohol de frutas tropicales (SIAF) y sólidos insolubles en alcohol de trigo (SIAT). CE=0.033 mg/mL	58
10. Contenido de flavonoides totales de extractos metanólicos de frutas tropicales con la adición de 300 mg sólidos insolubles en alcohol de frutas tropicales (SIAF) y sólidos insolubles en alcohol de trigo (SIAT)	59
11. Capacidad antioxidante (DPPH) de extractos metanólicos de a) piña, b) mango, c) papaya y, d) guayaba con la adición de sólidos insolubles en alcohol de frutas tropicales (SIAF) y sólidos insolubles en alcohol de trigo (SIAT), respecto al tiempo. CE = 0.033 mg/mL	61
12. Capacidad antioxidante (DPPH) de extractos metanólicos de frutas tropicales con la adición de 300 mg de celulosa pectina y combinación de ambas. CE = 0.033 mg/mL	63

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Contenido de fibra dietaria (% peso fresco) en pulpa de frutas climatéricas y no-climatéricas	14
2. Compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria en la matriz de diferentes alimentos.....	16
3. Rendimiento de sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales y trigo (g/100 g PF).....	40
4. Fibra dietaria total, soluble e insoluble los sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales y trigo (g/100 g SIA)	42
5. Composición de azúcares totales, almidón, ácidos urónicos y celulosa en los sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales y trigo (g/100 g SIA).....	44
6. Azúcares neutros individuales en los sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales y trigo (g/100 g SIA)	46
7. Contenido de fenoles y flavonoides totales en extractos metanólicos de frutas tropicales	49
8. Capacidad antioxidante por los métodos de DPPH, TEAC y ORAC en extractos metanólicos de frutas tropicales.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

EAG	Equivalentes de ácido gálico
EC	Equivalentes de catequina
EQ	Equivalentes de quercetina
ET	Equivalentes trolox
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidracil
FD	Fibra dietaria
FDI	Fibra dietaria insoluble
FDS	Fibra dietaria soluble
ORAC	Capacidad de absorbanca de radicales oxígeno
PF	Peso fresco del fruto
SIA	Sólidos insolubles en alcohol
SIAF	Sólidos insolubles en alcohol de frutas tropicales
SIAT	Sólidos insolubles en alcohol de trigo
TEAC	Capacidad antioxidante equivalente en trolox

RESUMEN

Las frutas tropicales se caracterizan por ser fuente rica de vitaminas, minerales, fibra dietaria y compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos son moléculas antioxidantes, capaces de estabilizar radicales libres, causantes de procesos de deterioro como el envejecimiento y algunas enfermedades crónico degenerativas. Sin embargo, la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de cada compuesto fenólico es muy variada; además, existen diversos factores que interfieren en estos procesos, tales como la matriz del alimento y las interacciones químicas con otras biomoléculas. Por otra parte, existe evidencia que indica que éstos compuestos pueden interactuar directamente con otros constituyentes de los alimentos, como la fibra dietaria, lo cual puede también interferir con su bioaccesibilidad y biodisponibilidad y afectar su función biológica. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto *in vitro* de la fibra dietaria de frutas tropicales sobre el potencial antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en extractos de piña cv. 'Esmeralda', mango cv. 'Haden', papaya cv. 'Maradol' y guayaba cv. 'Hawaiiana blanca'. Se obtuvo fibra y extractos metanólicos de frutas tropicales. La fibra dietaria de frutas tropicales se caracterizó en cuanto a composición de azúcares totales, almidón, ácidos urónicos y celulosa. Además se determinó fibra dietaria total, soluble e insoluble y azúcares neutros individuales. Adicionalmente, los extractos de frutas se caracterizaron en cuanto a su capacidad antioxidante y contenido de fenoles y flavonoides totales. Finalmente, se evaluó el efecto de la adición de fibra dietaria de frutas tropicales sobre el potencial antioxidante de los extractos, utilizando fibra de trigo como control positivo. Se realizó una dinámica de interacción de este comportamiento. Se presentaron cambios significativos ($p < 0.05$) entre los contenidos de cada uno de los carbohidratos presentes en

las fibras, así como también entre los extractos metanólicos de las frutas analizadas. Las fibras de guayaba y papaya mostraron mayor proporción de celulosa y pectina, respectivamente, mientras la de mango de almidón. Por otra parte, las fibras obtenidas de mango y papaya se caracterizaron por ser de naturaleza soluble, mientras que las de piña, guayaba y trigo fueron principalmente del tipo insoluble. La xilosa y la glucosa fueron los azúcares neutros predominantes en la fibra. En cuanto a la interacción fibra-compuestos bioactivos, se obtuvo que la adición de la fibra dietaria disminuyó la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos en un 5-21%; de las frutas, la fibra de mango afectó en mayor proporción y la fibra de trigo la redujo en un 23-45%. Lo anterior muestra una interacción entre la fibra y los compuestos bioactivos, lo cual se corroboró a nivel tanto de fenoles como de flavonoides. Al determinar la dinámica de interacción de la capacidad antioxidante por efecto de las fibras, se observó que la fibra obtenida a partir del fruto de mango presentó la mayor pendiente (m) con -2.77, por lo que presentó la mayor interacción entre los compuestos fenólicos y por tanto disminuyó ($p < 0.05$) en mayor magnitud la capacidad antioxidante. Se concluye que la fibra dietaria presente en los frutos tropicales, afecta la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos, ya que al parecer existe una buena interacción fisicoquímica, ocasionando una reducción en la capacidad antioxidante.

Palabras clave: frutas tropicales, compuestos fenólicos, fibra dietaria, bioaccesibilidad

ABSTRACT

Tropical fruits are a good source of vitamins, minerals, dietary fiber (DF) and bioactive molecules such as phenolic compounds (PC). PC are antioxidants, capable of stabilizing free radicals, which cause deterioration process such as aging and chronic degenerative diseases. The bioaccessibility and bioavailability of each PC is diverse and they involve several factors that may interfere, such as the food matrix and physico-chemical interactions with other biomolecules. However, there are evidences that PC can interact directly with other food constituents such as DF, which can affect its bioaccessibility and bioavailability affecting their biological function. Therefore, the effect of the addition of dietary fiber of tropical fruits (DFF) on the antioxidant potential of methanolic extracts (ME) of pineapple cv. "Esmeralda", mango cv. "Haden", papaya cv. "Maradol" y guava cv. "Hawaiian white", was investigated. DFF and ME were characterized by sugars content and antioxidant status, respectively. Additionally, the effect of DFF on the antioxidant potential of ME; and a wheat dietary fiber (WDF) used as a positive control, was evaluated. The dynamic interaction of this phenomenon was evaluated. The experimental design of the study was a completely randomized design. Data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at a significance level of 0.05. Significant changes ($p < 0.05$) between the contents of each of the carbohydrates present in fibers, as well as between the methanolic extracts were observed. Guava and papaya fibers showed the highest proportion of cellulose and pectin, respectively. Moreover, fibers obtained from mango and papayas were characterized as soluble fibers, while pineapple, guava, and wheat were mainly insoluble fiber. Xylose and glucose were the predominant neutral sugars observed in the fibers. The

addition of DFF decreased ($p < 0.05$) the antioxidant capacity of PE from 5-21%; being the mango fiber which affected in higher extent this parameter. The addition of WDF produced the highest reduction ($p < 0.05$) in the antioxidant capacity (23-45%). It appears that exist an interaction between the fiber and bioactive compounds, which was confirmed with the determination of phenols and flavonoids content. In addition, the dynamic interaction demonstrated that fiber obtained from mango had the highest slope (m) -2.77, which was apparently related with the highest interaction between phenolic compounds and fiber resulting in the highest decrease ($p < 0.05$) in the antioxidant capacity. We concluded that DFF present in the fruits affects the bioaccessibility of bioactive compounds, due its high physicochemical interaction that reduced the antioxidant capacity.

Keywords: Tropical fruits, phenolic compounds, dietary fiber, bioaccessibility

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la relación entre el consumo de frutas y la salud humana ha sido punto focal de la investigación científica. Este interés se ha centrado en la búsqueda específica de compuestos presentes en vegetales que proporcionan beneficios a la salud del consumidor (Palafox-Carlos *et al.* 2011). Las frutas, además de ser fuente de vitaminas, minerales y fibra dietaria, también son fuente rica en compuestos bioactivos conocidos como fitoquímicos. Entre las frutas tropicales de mayor relevancia a nivel mundial se encuentran la piña, el mango, la papaya y la guayaba. La alta demanda de estas frutas tropicales se debe principalmente a los beneficios a la salud que proporciona, atribuidos a los compuestos bioactivos que presentan. Los compuestos fenólicos son sustancias fitoquímicas, que estando en bajas concentraciones en los alimentos, pueden prevenir algunos de los procesos implicados en el desarrollo de algunos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Denny y Buttriss 2007). Sin embargo, la evidencia de su papel en la prevención de otras enfermedades degenerativas requiere de un mayor soporte científico.

La bioaccesibilidad y actividad biológica de cada compuesto fenólico es muy variada, y no necesariamente los compuestos más abundantes en las frutas ingeridas son los que conducen a mayores concentraciones de metabolitos activos en los tejidos (Manach *et al.* 2004). Existen diversos factores que interfieren en la bioaccesibilidad de estos compuestos, como la matriz alimentaria en la que se encuentran inmersos y las interacciones físico-químicas con otros fitoquímicos y/o biomoléculas (Parada y Aguilera 2007). En las frutas, los compuestos fenólicos se encuentran interactuando con diferentes macromoléculas como carbohidratos, lípidos y proteínas. Particularmente, los

compuestos fenólicos interactúan con los carbohidratos, encontrándose en forma libre y conjugada (Manach *et al.* 2005). En consecuencia, estas interacciones pueden ser benéficas o perjudiciales ya que puede limitarse la acción biológica de los compuestos fenólicos (Sun-Waterhouse *et al.* 2008).

La fibra dietaria, está determinada por un grupo de carbohidratos complejos que no pueden ser digeridos por las enzimas digestivas del organismo humano, jugando un papel importante en la dieta y salud humana (Adiotomre *et al.* 1990; Prosky 2000; Montagne *et al.* 2003; DeVries 2004). Existe evidencia que indica que estos carbohidratos complejos, pueden interactuar directamente con los compuestos fenólicos presentes en los alimentos interfiriendo con su bioaccesibilidad, pudiendo afectar así su potencial antioxidante (Faulks y Southon 2005; Parada y Aguilera 2007; Porrini *et al.* 2008; Pérez-Jiménez *et al.* 2009; DeVries 2004). Motomura y Yoshida (2002) reportaron que las paredes celulares de una gran variedad de frutas brindan un efecto protector a la oxidación de ácido ascórbico. Por otra parte, Sun-Waterhouse *et al.* (2007) demostraron que los carbohidratos y paredes celulares extraídas de manzana afectan la actividad antioxidante de quercetina y ácido ascórbico. Diversos estudios han reportado que la utilización de celulosa y pectina puras, como modelo de estudio de las paredes celulares, interaccionan con las antocianinas (cargadas positivamente) y con los ácidos fenólicos (cargados negativamente) presentes en un jugo concentrado de zanahoria; afectándose su bioaccesibilidad (Padayachee *et al.* 2012b; Padayachee *et al.* 2012a). En este sentido, la actividad antioxidante de algunas moléculas podría estar siendo afectada por la interacción con la fibra dietaria presente en algunos vegetales.

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto *in vitro* de la fibra dietaria presente en frutas tropicales (piña, mango, papaya y guayaba) sobre el potencial antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en la matriz del mismo fruto.

ANTECEDENTES

Frutas tropicales

En los últimos años, la producción, el comercio y el consumo de frutas tropicales ha aumentado significativamente, esto debido principalmente a sus características sensoriales y al creciente reconocimiento de su valor nutricional y terapéutico (Yahia 2009). Algunos ejemplos de frutas tropicales con mayor relevancia incluyen al mango, papaya, piña y guayaba, entre otras. La gran diversidad de especies, con sus distintas formas, aromas, sabores y colores, hace de ellas productos de una gran aceptación por parte de los consumidores en todo el mundo. En la actualidad estos productos presentan una importancia económica por los altos volúmenes de exportación que tienen los países productores localizados en los trópicos.

Adicionalmente, las frutas tropicales mencionadas anteriormente se caracterizan por ser una fuente natural de compuestos bioactivos, como antioxidantes y fibra dietaria; los cuales juegan un rol significativo en la dieta y salud humana (Mahattanatawee *et al.* 2006). En este sentido, la piña, el mango, la papaya y la guayaba son frutas tropicales modelo para la realización de estudios sobre antioxidantes y fibra dietaria.

Composición química

Las características y propiedades de las frutas tropicales están relacionadas

con su composición química, así como con su estado de madurez. En general, la composición química de las frutas está representada por agua con un 80 a 90%, azúcares entre el 5 y 18%, fibra 2%, proteínas y grasas entre 0.1 y 1.5%, y en menor proporción vitaminas, minerales, ácidos orgánicos, pigmentos y fitoquímicos. Estos últimos compuestos están implicados en los efectos benéficos saludables por el consumo de estos frutos (Beever y Hopkirk 1990). Debido al alto contenido de agua, las frutas se caracterizan por ser refrescantes. Además, el agua está directamente asociada a la conservación de las mismas, ya que es responsable de la turgencia de las células y tejidos, de la actividad microbiana y de las reacciones bioquímicas (Seymour *et al.* 1993). En cuanto al contenido en glúcidos, puede variar según la especie y época de recolección. Los carbohidratos son generalmente azúcares simples de fácil digestión y rápida absorción como fructosa y glucosa (Hulme 1971). Durante el proceso de fotosíntesis se da lugar a la formación de otros azúcares componentes estructurales de polisacáridos complejos como la celulosa y la pectina, y reservas energéticas como el almidón (Hawker *et al.* 1991). Por otra parte, en las frutas tropicales poco maduras, se encuentra el almidón, que con la maduración se hidroliza enzimáticamente a azúcares simples (Hawker *et al.* 1991).

En cuanto al contenido de fibra dietaria, ésta es de gran importancia desde el punto de vista biofuncional y se conforma principalmente por celulosa, pectina y hemicelulosa (DeVries 2004). En particular, la celulosa y la hemicelulosa son componentes de la pared celular, que junto con la lignina constituyen un grupo de polímeros insolubles en agua conocidos como fibra insoluble. La fibra soluble o gelificante como las pectinas, algunas gomas y mucílagos forman con el agua mezclas viscosas, en donde el grado de viscosidad va a depender de la fruta de la que proceda, así como del grado de maduración. Particularmente, las pectinas desempeñan un papel importante en la consistencia de las frutas. La piel de las frutas es la que posee mayor concentración de fibra (Vincent *et al.* 2010). Entre las frutas tropicales con altos

niveles de fibra dietaria destacan la guayaba, plátano, mango, kiwi, piña y papaya (Mahattanatawee *et al.* 2006).

Las vitaminas, están presentes en pequeñas cantidades en las frutas tropicales y son indispensables para la vida y la salud (Hulme 1971). Entre las vitaminas más comunes en las frutas tropicales se encuentran la vitamina C y las vitaminas del grupo B. Según el contenido de vitaminas, las frutas se pueden clasificar en dos grandes grupos, ricas en vitamina C (cítricos, melón, fresas y kiwi) y ricas en vitamina A (naranja, plátano, mandarina, melón) (Vicente *et al.* 2009). Las frutas tropicales no se caracterizan por tener altos contenidos de proteínas y lípidos a diferencia de algunas semillas donde estos componentes se encuentran en altas concentraciones.

Otros componentes metabólicos importantes de las frutas tropicales son los ácidos orgánicos, los pigmentos y los fitoquímicos. Los ácidos orgánicos no volátiles presentes en las frutas son el cítrico, tartárico y el málico, los cuales contribuyen al sabor característico y retardan la descomposición bacteriana. Por otra parte, los pigmentos son las sustancias encargadas de proporcionar el color a las frutas tropicales, estos compuestos son muy numerosos y se clasifican en tres principales grupos: las clorofilas, los carotenoides y los flavonoides (Vincent *et al.* 2010).

Fisiología de frutas tropicales climatéricas y no climatéricas

En general, las frutas tropicales después de ser cosechadas continúan sus procesos metabólicos, agotando así sus reservas energéticas, con el fin de mantener los sistemas fisiológicos activos (Knee 2002). En este sentido, las frutas tropicales cosechadas continúan respirando, en algunos casos madurando e iniciando procesos de senescencia, todo lo cual implica una serie de cambios estructurales, bioquímicos y de componentes que son específicos para cada fruta (Pech *et al.* 2012). Por lo tanto, dependiendo del proceso de

respiración y de la síntesis de la hormona implicada en la maduración de las frutas, éstas se pueden clasificar en climatéricas (mango, plátano, papaya, guayaba, etc.) y no climatéricas (piña, cítricos, fresa, etc.) (Knee 2002).

La respiración es un proceso metabólico fundamental y puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos presentes en las células, como el almidón, los azúcares y ácidos orgánicos, a moléculas más simples, como el bióxido de carbono y el agua, con liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas en diferentes reacciones (Vicente *et al.* 2009; Kader 2002). En las frutas tropicales, existen diferencias marcadas en la respiración, tanto en las tasas como en los patrones de cambio. No obstante, la respiración es generalmente más alta durante los estados tempranos de desarrollo y decrece conforme maduran los órganos de la planta. Las frutas tropicales climatéricas presentan un pico característico de la actividad respiratoria durante la maduración, llamado climaterio respiratorio. Este pico puede corresponder con la madurez de consumo, o puede procederla o venir después, dependiendo de la fruta en cuestión (Knee 2002). La magnitud del pico puede variar enormemente entre frutos. Es importante hacer notar que las frutas con mayores tasas respiratorias, como el plátano y la papaya, tienden a madurar más rápidamente y por lo tanto son más perecederas. Esto ha conducido a la regulación de la respiración como un posible objetivo para la manipulación bioquímica de la vida de anaquel. Este incremento respiratorio está asociado con un patrón similar de síntesis de etileno, el cual puede darse antes del aumento de la actividad respiratoria, a veces en forma simultánea y en otros casos después (Lelièvre *et al.* 1997).

El etileno es una hormona vegetal, que controla el proceso de maduración de las frutas. Las plantas producen etileno, pero únicamente los tejidos de las frutas climatéricas o en tejidos con lesiones. Al sintetizarse esta molécula, se aceleran los procesos enzimáticos causantes de la mayor parte de los cambios en la composición química de las frutas, los cuales afectan las propiedades físicas y organolépticas y marcan el paso al envejecimiento. La producción de etileno por los frutos es variable al igual que la respiración

(Lelièvre *et al.* 1997). De tal manera que todos los frutos climatéricos se caracterizan por tener incrementos transitorios en la respiración y en la síntesis de etileno. El período inmediatamente anterior al pico climatérico, cuando el nivel de respiración es mínimo, es conocido como pre-climaterio.

Durante el climaterio se da un cambio de composición de los frutos, y una vez alcanzado cierto valor de etileno, el proceso es irreversible. Se producen una serie de cambios fisiológicos, como aumento en la permeabilidad de las membranas y otros cambios bioquímicos como síntesis de ácidos nucleicos y proteínas y un incremento en la actividad enzimática (Lelièvre *et al.* 1997). En contraste, los frutos no climatéricos simplemente exhiben una disminución gradual en su respiración durante la maduración y no presentan un incremento en la tasa de producción de etileno (Vicente *et al.* 2009).

Importancia económica

De acuerdo a la FAO, la producción y demanda de exportación de frutas tropicales ha ido en aumento. Diversos factores, como la migración, interés por lo exótico y una tendencia hacia una alimentación más sana, han impulsado el crecimiento en el consumo de este tipo de frutas en países desarrollados (Kortbech-Olesen 1996). Sus buenas características organolépticas, su aporte nutricional y su fácil preparación contribuyen al alto consumo de este tipo de alimentos.

El 98% de los países productores de frutas tropicales son países en desarrollo, mientras que los países desarrollados representan alrededor del 80% de los países importadores de estas frutas. Las frutas tropicales, incluidas las más cultivadas, la piña, el mango, el aguacate y la papaya, representan aproximadamente el 75% de las exportaciones de productos frescos tropicales. En 2004, la producción mundial de frutas tropicales se estimó en 67'700,000 MT, siendo el mango el fruto de mayor producción, seguido de la piña y la

papaya. La India lidera la producción mundial de frutas tropicales a gran escala, con 5, 074,300 MT, lo anterior posible gracias a su clima húmedo, seguida de Filipinas con 3, 341,600, MT y China con 1, 144,812 MT (FAO 2010). Las altas producciones, así como el manejo de exportación de estos frutos, generan fuentes importantes de empleos y divisas en diferentes países.

En este contexto, se puede decir que a nivel mundial, las frutas tropicales son cultivos de amplia importancia comercial y alimentaria, tanto para países y regiones de altos índices de desarrollo económico, como para lugares donde los niveles de ingreso y calidad de vida es baja. Por lo que existe una tendencia hacia la diversificación en el consumo de frutas tropicales, lo cual abre múltiples perspectivas para la producción, transformación y exportación de frutas tropicales.

Impacto en la salud

Las frutas tropicales son fuente rica en vitaminas, minerales, fibra dietaria y compuestos bioactivos conocidos como fitoquímicos. Algunos fitoquímicos son moléculas antioxidantes, que estando en bajas concentraciones son capaces de estabilizar radicales libres, causantes del desarrollo de algunas enfermedades crónico-degenerativas y de otras relacionadas con el envejecimiento (Yahia 2009). En este sentido, la asociación entre el consumo de frutas tropicales y la prevención de enfermedades se atribuye a la presencia de compuestos bioactivos; los cuales son los responsables de la actividad antioxidante de los alimentos de origen vegetal.

Entre los fitoquímicos más comunes en las frutas se encuentran las vitaminas C y E, carotenoides y compuestos fenólicos (González-Aguilar *et al.* 2008). En particular, los compuestos fenólicos constituyen uno de los grupos antioxidantes naturales más abundantes y ampliamente distribuidos en el reino vegetal (De la Rosa *et al.* 2010). En las células vegetales, se encuentran

principalmente dentro de las vacuolas y poseen una amplia gama de efectos biológicos, tales como antioxidantes, antibacterianos, antivirales, antiinflamatorios, antitrombóticos y acciones vasodilatadoras (Di Carlo *et al.* 1999). Estas propiedades hacen de estos frutos un punto focal de la investigación científica; particularmente, por los beneficios adicionales que pueden atribuirse al consumo de alimentos ricos en fitoquímicos, relacionados con la reducción de obesidad y la diabetes, principales factores de riesgo de algunas enfermedades cardiovasculares (Vincent *et al.* 2010).

Por otra parte, otro de los principales constituyentes de las frutas tropicales que de igual manera contribuye a beneficios a la salud, es la fibra dietaria. Ésta es considerada un grupo de polisacáridos complejos resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas. El consumo de fibra dietaria se ha relacionado con una reducción del riesgo de desarrollar enfermedades del corazón, riesgos de accidentes cerebro vasculares, hipertensión, diabetes, obesidad, así como desórdenes gastrointestinales (Anderson *et al.* 2009). Además, un aumento en el consumo de fibra dietaria retrasa la absorción de lípidos y glucosa, mejorando las concentraciones en sangre, reduce la presión arterial, promueve movimientos peristálticos del intestino y ayuda en la pérdida de peso (DeVries 2004).

En este sentido, los fitoquímicos, específicamente los compuestos fenólicos, así como la fibra dietaria son dos componentes principales de las frutas tropicales que participan en la prevención de ciertas enfermedades. Sin embargo, la abundante literatura en este campo se ha centrado en estudiar a éstas moléculas por separado, debido a sus diferencias estructurales. Debido a que los compuestos fenólicos se encuentran principalmente dentro de las vacuolas, durante el procesamiento de los alimentos y/o durante la digestión, estos pueden interactuar con la fibra dietaria, afectando su bioaccesibilidad y biodisponibilidad. De hecho, estudios recientes reportan una posible interacción entre la fibra dietaria y los compuestos fenólicos presentes en las frutas (Saura-Calixto 2010a). En consecuencia, esta interacción podría beneficiar o perjudicar la actividad de ambas moléculas.

Compuestos fenólicos y potencial antioxidante

Un gran número de moléculas que tienen una estructura fenólica (grupos hidroxilo unidos a anillos aromáticos) han sido identificadas en plantas superiores y varias se encuentran en frutas (Manach *et al.* 2005; Denny y Buttriss 2007). Estas moléculas son llamadas compuestos fenólicos ó polifenoles y son metabolitos secundarios de las plantas que, por lo general, participan en la defensa contra la radiación ultravioleta o daños fisiológicos por patógenos (Yedidia *et al.* 2008). Los compuestos fenólicos pueden clasificarse en diferentes grupos, en función del número de anillos fenol que poseen y de los elementos estructurales que unen a estos anillos entre sí (Manach *et al.* 2005). Entre los principales grupos se encuentran los flavonoides, ácidos fenólicos, estilbenos y lignanos. Además de esta diversidad, los fenoles pueden estar asociados con varios carbohidratos y ácidos orgánicos, y conjugarse entre ellos mismos.

Una de las principales propiedades de estos compuestos es su potencial antioxidante. El potencial antioxidante se puede considerar como una actividad biológica capaz de inhibir la oxidación de biomoléculas importantes promoviendo un efecto preventivo sobre determinadas enfermedades (Soobrattee *et al.* 2005). La actividad de los compuestos fenólicos parece estar relacionada con su capacidad quelante de metales, inhibición de la lipoxigenasa y captura de radicales libres (Alamed *et al.* 2009). Entre los compuestos fenólicos con un reconocido potencial antioxidante destacan los flavonoides (quercetina, kaemferol, miricetina), los ácidos fenólicos (gálico, cumárico, caféico, clorogénico) y taninos (elagitaninos); los cuales constituyen la fracción polifenólica de una gran diversidad de alimentos de origen vegetal (Manach *et al.* 2004).

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos varía en función del grupo de compuesto estudiado y de su solubilidad. De manera general, se puede decir que esta propiedad va a depender de la estructura química de los

compuestos y de la presencia de grupos hidroxilo presentes en la molécula. Además, la capacidad de ejercer el potencial antioxidante de los fenoles va a depender de su bioaccesibilidad en el alimento y su biodisponibilidad en el tracto gastrointestinal (Saura-Calixto 2010a). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la bioaccesibilidad y actividad antioxidante de los compuestos fenólicos puede verse afectada por factores como la matriz alimentaria y las interacciones químicas con otras moléculas, como los carbohidratos. Esto indica la necesidad de estudiar el papel específico de la fibra dietaria en la bioaccesibilidad de estos compuestos, con la finalidad de observar efectos sobre la actividad antioxidante.

Fibra dietaria en frutas tropicales

El consumo de frutas tropicales contribuye a beneficios a la salud humana, esto debido a que son fuente rica en algunos micronutrientes y fibra dietaria. La fibra dietaria está constituida por una variedad de polisacáridos que incluyen la celulosa, hemicelulosa, pectina, β -glucanos, gomas y lignina (Michaelides y Cooper 2005; Sudha *et al.* 2007). Estos compuestos son resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas y se encuentran principalmente en tejidos parenquimatosos (Figuerola *et al.* 2005; Saura-Calixto 2010b). En las frutas, las paredes celulares constituyen la mayor parte de fibra (Díaz-Rubio *et al.* 2008).

La fibra dietaria se clasifica en fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI). La FDS incluye pectinas, β -glucanos, arabinoxilanos, galactomananos, gomas, mucílagos, así como otros polisacáridos y oligosacáridos indigeribles. Por otra parte, la FDI está formada por polisacáridos como la celulosa y otros compuestos como lignina y cutina (Figuerola *et al.* 2005) (**Figura 1**). En los tejidos de las frutas tropicales, existe mayor proporción de FDS, mientras que los cereales poseen cantidades mayores de celulosa y

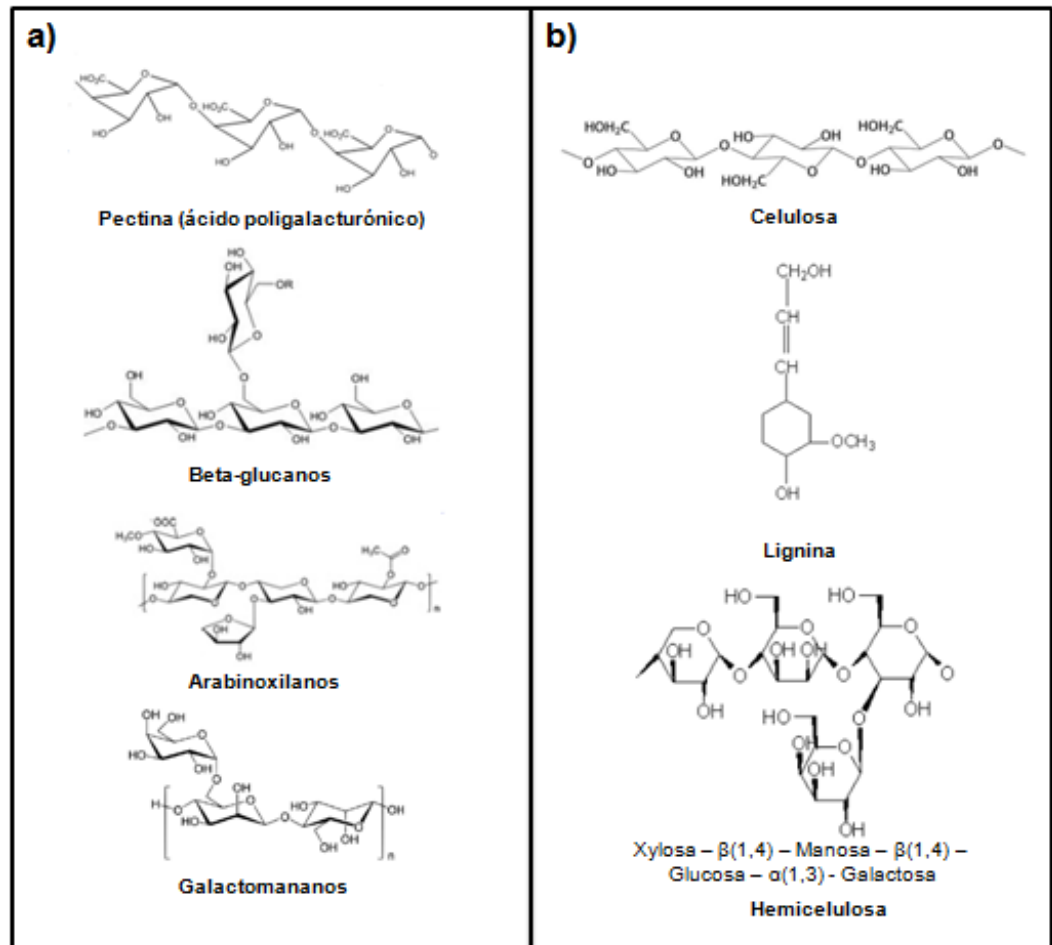


Figura 1. Polisacáridos que conforman a la (a) fibra dietaria soluble (FDS) y (b) fibra dietaria insoluble (FDI).

hemicelulosa (Figuerola *et al.* 2005). Por tal motivo, la fibra dietaria de origen vegetal presenta propiedades funcionales como capacidad de retención de agua, formación de geles, capacidad de hinchamiento, entre otras (González-Centeno *et al.* 2010). Estas propiedades están relacionadas con la estructura porosa de la matriz formada por cadenas de polisacáridos que pueden contener grandes cantidades de agua a través de puentes de hidrógeno (Rosell *et al.* 2009).

El contenido de fibra dietaria en las frutas tropicales puede afectarse por diversos factores como la variedad, condiciones de cultivo, estado de maduración, procesamiento poscosecha (De la Rosa *et al.* 2010). Por otra parte, las propiedades de la fibra en las frutas tropicales no solo van a depender de su contenido, sino también de su composición (azúcares neutros y ácidos urónicos en FDS; azúcares neutros, ácidos urónicos y lignina Klason en FDI), la cual puede variar de una fruta a otra (Jiménez-Escrig *et al.* 2001). Por ejemplo, el contenido de FDT en plátano y naranja es similar, sin embargo, el contenido de ácido urónico en la FDS de naranja es tres veces mayor que en plátano (De la Rosa *et al.* 2010). El **Cuadro 1** muestra el contenido de las fracciones de fibra soluble e insoluble de algunas frutas climatéricas y no climatéricas, particularmente para estas frutas la fracción insoluble siempre es más alta respecto a la soluble.

Actualmente, existe evidencia científica de que la fibra dietaria también puede estar constituida por otros compuestos indigeribles como el almidón resistente, oligosacáridos y fitoquímicos (Díaz-Rubio y Saura-Calixto 2006). De estas moléculas, los fitoquímicos son un componente importante en las frutas tropicales, los cuales parecen estar implicados en muchos de los beneficios a la salud que la fibra proporciona. Numerosos estudios epidemiológicos demuestran el papel de la fibra dietaria presente en las frutas tropicales sobre la salud intestinal y la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer, obesidad y diabetes (Anderson *et al.* 2009; De la Rosa *et al.* 2010). La presencia de FDS en las frutas tropicales se ha asociado a efectos más pronunciados en el ámbito intestinal (Lunn y Buttriss 2007). El potencial bené-

Cuadro 1. Contenido de fibra dietaria (% peso fresco) en pulpa de frutas climatéricas y no-climatéricas.

Fruto	Humedad (%)	Fibra dietaria soluble	Fibra dietaria insoluble	Fibra dietaria total
<i>Climatéricos</i>				
Manzana	85.2	0.70	1.86	2.56
Plátano	64.6	2.03	3.51	5.53
Papaya	84.4	1.24	1.80	1.80
Durazno	83.3	0.75	3.02	3.77
Pera	83.3	0.75	3.02	3.77
Mango	81.8	0.85	1.04	1.93
Kiwi	83.3	1.01	2.27	3.28
Melón	91.4	0.20	0.91	1.11
Nectarina	85.3	0.98	1.06	2.04
<i>No climatéricos</i>				
Naranja	87.2	0.95	0.90	1.85
Uva	81.9	0.24	1.08	1.32
Cereza	92.2	0.60	0.90	1.50
Piña	85.7	0.27	1.86	2.13
Fresa	92.9	0.70	1.60	2.30
Sandía	91.4	0.17	0.27	0.44

(De La Rosa *et al.* 2010)

fico atribuido al consumo de frutas tropicales pudiera estarse atribuyendo no solo a la fibra dietaria contenida en ellas, sino también a la posible interacción entre las altas cantidades de fibra y otros compuestos presente en frutas tropicales.

Asociación de fibra dietaria y compuestos fenólicos en frutas tropicales

La fibra dietaria y los compuestos fenólicos son dos componentes importantes de las frutas tropicales. Sin embargo, la abundante literatura en esta área no ha establecido una relación entre estos dos componentes; probablemente debido a sus diferencias estructurales, fisicoquímicas y biológicas. No obstante, estudios recientes han demostrado una estrecha asociación entre estos compuestos, tanto en la matriz del fruto como durante un proceso fisiológico común y sinérgico en el tracto gastrointestinal (Saura-Calixto 2010a). En este sentido, se puede decir que los componentes de la fibra dietaria son capaces de interactuar con otros constituyentes de los alimentos, como los compuestos fenólicos. Los compuestos fenólicos son un grupo complejo de moléculas presentes principalmente en las vacuolas de las células vegetales, de forma libre o asociadas a los componentes de la pared celular (fibra dietaria) (Sánchez-Alonso *et al.* 2007). La unión entre estas moléculas puede darse por medio de interacciones hidrofóbicas y enlaces covalentes formados en la matriz del fruto (Saura-Calixto 2010a). Algunos autores reportan la asociación de estas moléculas en diferentes alimentos (**Cuadro 2**), siendo los polifenoles poliméricos y los de bajo peso molecular los principales fenoles asociados a la fibra dietaria (Saura-Calixto 2010a). No obstante, otras interacciones fisicoquímicas o bien de atrapamiento físico (debido a la alta viscosidad de ciertas fibras), pueden formarse durante el procesamiento de los alimentos y/o durante el proceso de digestión (Palafox Carlos *et al.* 2011). Al liberarse los compuestos fenólicos de las vacuolas, quedan en contacto con las

Cuadro 2. Compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria en la matriz de diferentes alimentos.

Fruto	FD (% peso seco)	Compuestos fenólicos asociados (% peso seco)	Perfil (compuestos mayoritarios)
Manzana con piel	16.6	0.36	Proantocianidinas, ácido ferúlico
Naranja	26.5	0.345	Polifenoles hidrolizables
Fresa	24.9	0.44	Proantocianidinas, taninos hidrolizables
Bebida	mg/L	mg/L	Perfil (compuestos mayoritarios)
Vino rojo	1370	533	Flavonoles, ácido benzoico
Jugo de durazno	2037	103	Flavonoles, ácido hidroxicinámico

(Saura-Calixto 2010b)

paredes celulares, formándose algunas interacciones. Lo anterior, impide la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los compuestos fenólicos, afectando su efecto biológico.

En este sentido es necesario seguir realizando estudios que establezcan la asociación entre la fibra dietaria y los compuestos fenólicos en diferentes alimentos, con la finalidad de observar un efecto benéfico o no benéfico. No obstante, a pesar de existir evidencias que ocurren entre compuestos fenólicos y proteínas, este tema no se aborda en este trabajo de tesis dada las cantidades tan bajas de proteínas presentes en las frutas. Por lo anterior, el tema de este estudio se enfoca en las posibles interacciones que pueden darse entre los compuestos fenólicos y los diferentes tipos de fibra dietaria presentes en las frutas tropicales.

Interacciones entre fibra dietaria y compuestos fenólicos

La presencia de compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria es una característica común que puede presentarse en los alimentos vegetales ricos en polifenoles, como las frutas tropicales (Díaz-Rubio *et al.* 2009). El complejo grupo de polisacáridos que forman a la fibra dietaria puede actuar atrapando compuestos fenólicos o bien formando interacciones fisicoquímicas con ellos (**Figura 2**). Los compuestos fenólicos poseen anillos aromáticos hidrofóbicos y grupos hidroxilo hidrofílicos con la capacidad de enlazar polisacáridos y proteínas en la superficie de la pared celular (Serrano *et al.* 2009b). Este tipo de interacciones fisicoquímicas puede darse por puentes de hidrógeno (entre el grupo hidroxilo de los fenoles y los átomos de oxígeno de los enlaces glucosídicos de los polisacáridos), interacciones hidrofóbicas y enlaces covalentes (enlace éster entre ácidos fenólicos y polisacáridos) (Saura-Calixto 2010a) (**Figura 3**). En general, los compuestos de la fibra dietaria que interaccionan con los compuestos fenólicos pueden incluir al grupo carboxilo del

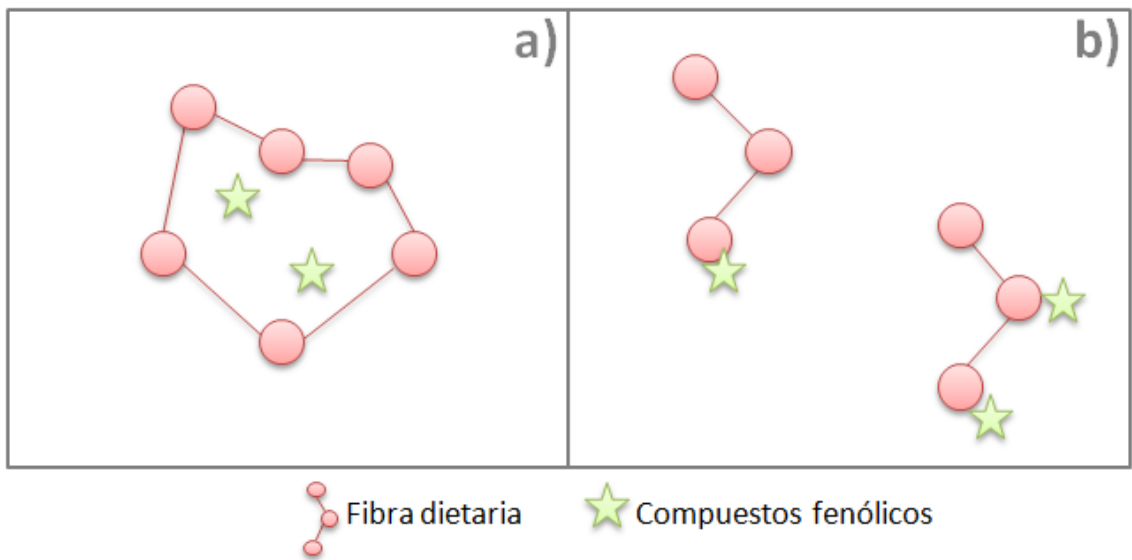


Figura 2. Atrapamiento físico (a) e interacciones fisicoquímicas (b) entre fibra dietaria y compuestos fenólicos.

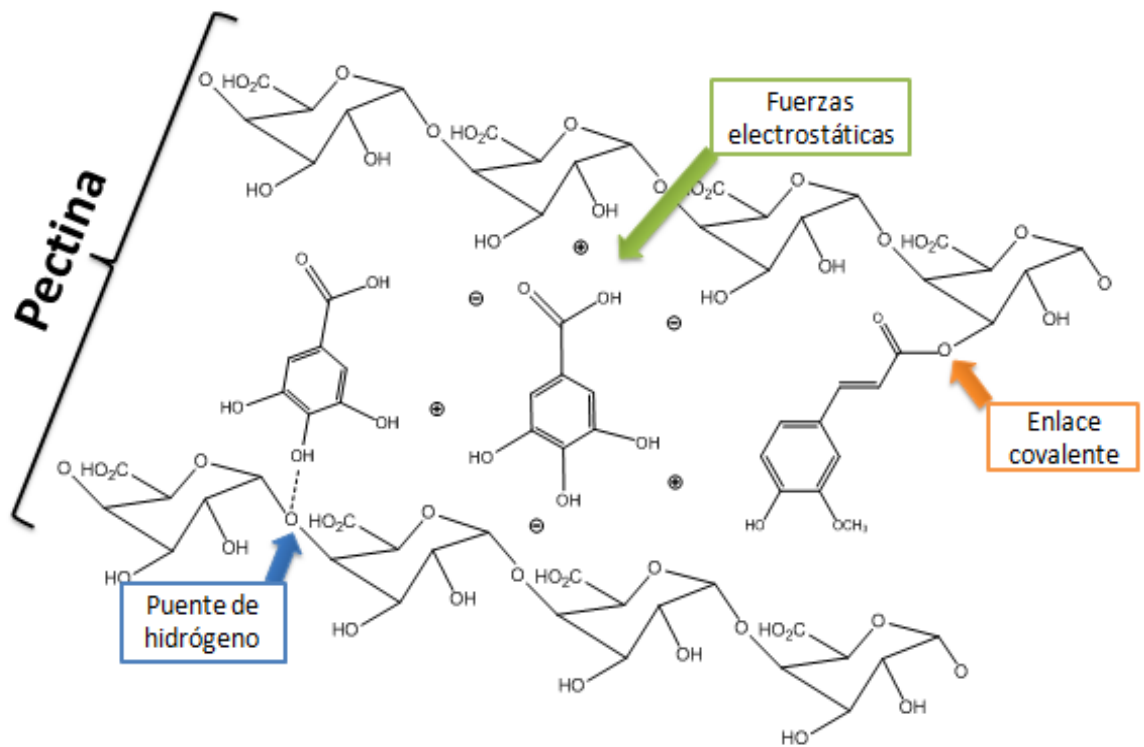


Figura 3. Tipos de interacciones fisicoquímicas entre compuestos fenólicos y fibra dietaria.

ácido urónico (hemicelulosa y pectina) y el grupo hidroxilo presente en la celulosa (Metzler y Mosenthin 2008).

El efecto antioxidante de los compuestos fenólicos puede verse afectado mediante el atrapamiento físico de algunas fibras, como las ricas en celulosa. La celulosa posee una estructura lineal y fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas de glucosa. Esta característica ejerce una absorción de agua y las hace impenetrables a ella, originando fibras compactas. De esta manera, algunos fenoles presentes en una solución acuosa pueden ser atrapados (**Figura 4**). Además, estas interacciones también pueden depender de la porosidad específica y propiedades de la superficie, lo que puede restringir el tamaño de las moléculas que penetran (Saura-Calixto 2010a). El tamaño de los poros de la pared celular puede variar de 4 a 10 nm de diámetro, que pueden restringir la penetración de compuestos fenólicos con masas moleculares más grandes a 10 kDa (equivalente a 34 unidades de catequina) (Saura-Calixto 2010a). Por tal motivo, la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los compuestos fenólicos presentes en los alimentos unidos a la fibra dietaria podría estar siendo afectada.

Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria

Las propiedades biológicas de los antioxidantes dependen tanto de su bioaccesibilidad y biodisponibilidad (Saura-Calixto 2010a). En general, la bioaccesibilidad se define como la cantidad de un componente del alimento que está presente en el intestino humano, como consecuencia de su liberación de la matriz del alimento, y que puede ser capaz de atravesar la barrera intestinal (Shim *et al.* 2009). En cambio, la biodisponibilidad se define como la cantidad y velocidad a la que el principio activo del alimento se absorbe y llega al lugar de

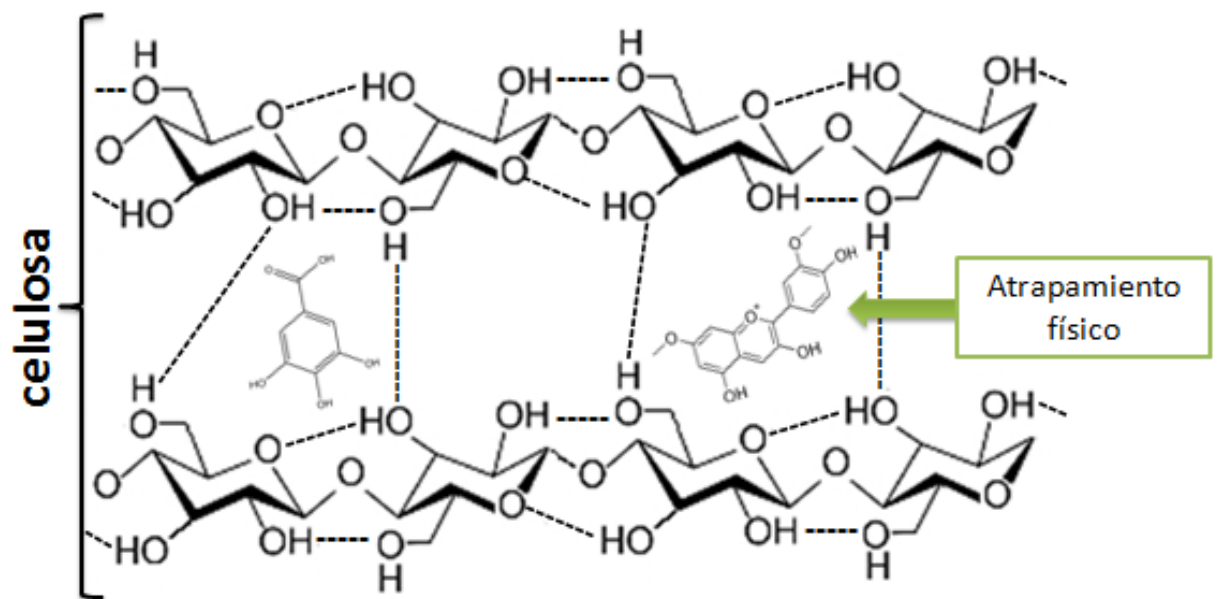


Figura 4. Atrapamiento físico de compuestos fenólicos mediante la formación de fibras compactas de celulosa.

acción (Holst y Williamson 2008). Por tanto, para que un compuesto fenólico sea potencialmente biodisponible, primeramente debe estar bioaccesible en la matriz del alimento (Tagliazucchi *et al.* 2010). Sin embargo, la presencia y tipo de fibra dietaria, puede interferir en diferente magnitud con su bioaccesibilidad en el alimento y su biodisponibilidad durante el proceso de digestión (Palafox-Carlos *et al.* 2011).

El tracto gastrointestinal humano puede considerarse como un extractor, en donde la masticación y la acción química durante la fase de digestión, contribuyen a la extracción de compuestos fenólicos de las matrices sólidas como las frutas (Lafay y Gil-Izquierdo 2008). En particular, la acción mecánica de la masticación influye en la degradación de las células de las frutas con la liberación de los fenoles contenidos en las vacuolas y los asociados a la pared celular. Otra parte de los compuestos fenólicos presentes en la matriz del alimento, son desprendidos en el tracto gastrointestinal humano (Saura-Calixto 2010a). Esto ocurre por solubilización directa (37° C, pH 1-7.5) ó por acción de las enzimas digestivas que hidrolizan los enlaces no covalentes entre los grupos hidroxilo de los compuestos fenólicos y los grupos polares de las moléculas polisacáridas (Palafox-Carlos *et al.* 2011). No obstante, dependiendo de su tamaño y grado de conjugación solo una parte de los fenoles son capaces de atravesar la pared intestinal (Saura-Calixto 2010a).

Los compuestos fenólicos de bajo peso molecular así como los polifenoles asociados a la fibra dietaria, no están biodisponibles en el intestino delgado humano (Saura-Calixto 2010a). Por tal motivo, éstas moléculas llegan al colon en asociación con la fibra dietaria, donde se convierten en sustratos fermentables para la microflora bacteriana (Manach *et al.* 2005). Los compuestos fenólicos no fermentados permanecen en el lumen del colon, donde pueden contribuir a un medio ambiente antioxidante al eliminar los radicales libres y contrarrestar los efectos de los compuestos pro-oxidantes de la dieta (Selma *et al.* 2009). También es posible que algunos polifenoles puedan ser excretados en las heces (Saura-Calixto *et al.* 2007) (**Figura 5**). Desde el punto de vista nutricional, es evidente que las enzimas digestivas humanas no

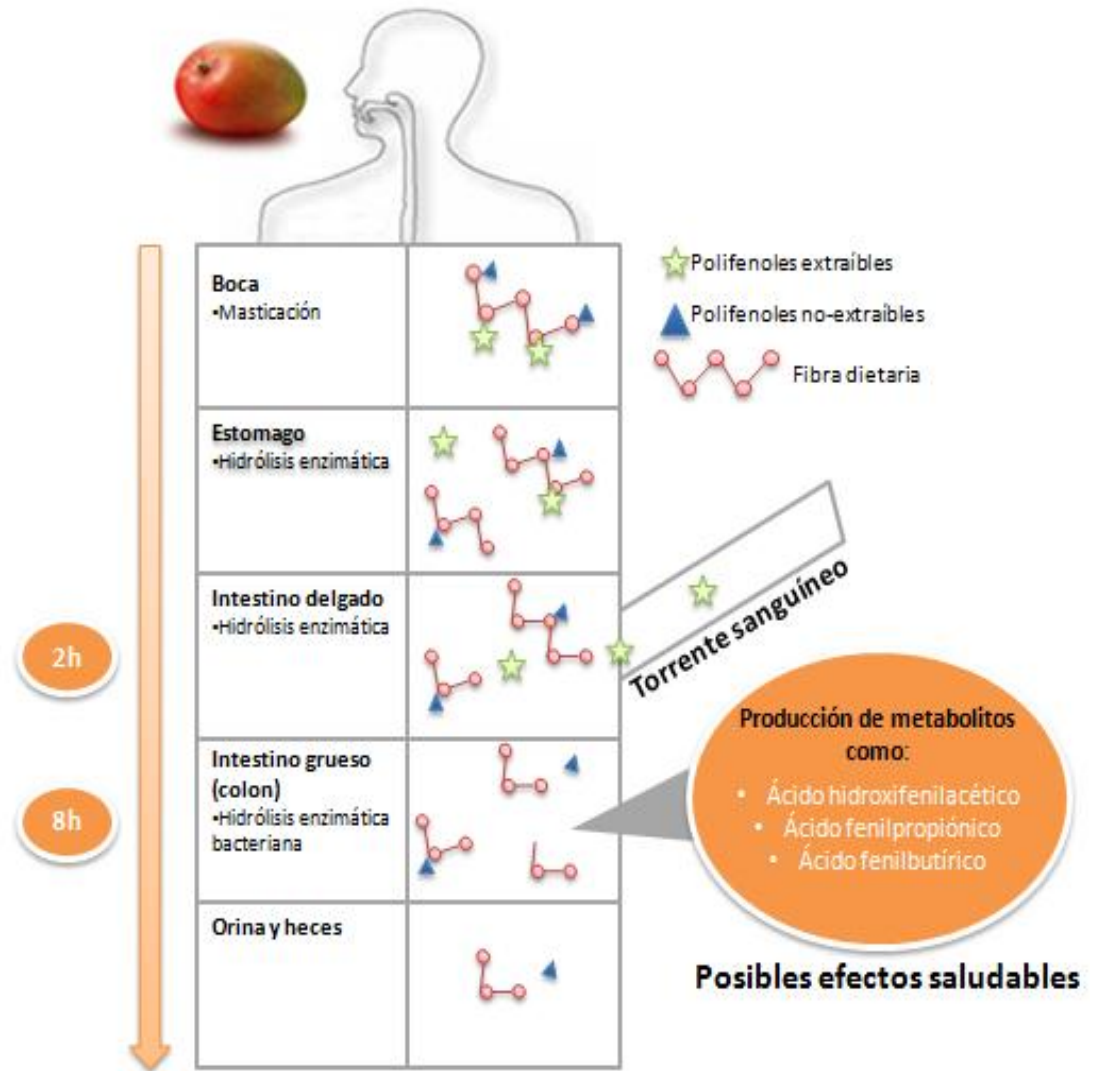


Figura 5. Biodisponibilidad de compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria (Palafox-Carlos *et al.* 2011; Saura-Calixto 2010b).

liberan completamente a los polifenoles asociados a la fibra dietaria, lo que sugiere que una fracción importante de polifenoles no será biodisponible en el intestino y sólo después de la fermentación bacteriana del colon podría ejercer un efecto biológico (Pérez-Jiménez *et al.* 2009).

La biodisponibilidad limitada de los compuestos fenólicos presentes en los alimentos a partir de matrices de frutas está determinada por su baja bioaccesibilidad en el intestino delgado, debido a las interacciones físicas y químicas de los antioxidantes con la fibra dietaria de las paredes celulares.

Propiedades de los compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria

Los compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria se caracterizan por presentar diferentes propiedades biológicas como capacidad antioxidante en plasma y colon, asociadas con la salud (Saura-Calixto 2010a). Una cantidad apreciable de polifenoles asociados a la fibra proporciona una capacidad antioxidante significativa que puede tener efectos pronunciados en sus propiedades. Esta característica se deriva del poder antioxidante sinérgico acumulativo de los polifenoles asociados, así como de otros componentes menores (carotenoides y productos de la reacción de Maillard). En este contexto, se ha encontrado que algunas frutas y sus subproductos (cáscara de mango, cáscara de piña, pulpa de guayaba, entre otras) son fuente de fibra dietaria con capacidad antioxidante, conocida como fibra dietaria antioxidante (Ajila *et al.* 2010; Jiménez-Escrig *et al.* 2001). Este producto puede ser utilizado como ingrediente en los alimentos, ya que puede prevenir la oxidación de lípidos en la carne y productos pesqueros, manteniendo la calidad nutricional y prolongando la vida útil (Sánchez-Alonso *et al.* 2007).

La fermentación de los compuestos fenólicos en el colon humano es un evento fisiológico que puedan tener efectos significativos en la salud intestinal. Los polifenoles no absorbibles asociados a la fibra dietaria no son

biodisponibles en el intestino delgado humano y llegan al colon, donde son sustratos fermentables para la microflora bacteriana (Saura-Calixto 2010a). Debido a que este material insoluble permanece durante mucho tiempo en el tracto gastrointestinal, tiene la capacidad de estabilizar radicales solubles formados ahí mismo. Los ácidos fenilacético, fenilpropiónico, fenilbutírico y urolitinas A y B, son metabolitos absorbibles de los polifenoles que pueden ejercer efectos sistémicos (Saura-Calixto *et al.* 2010). Sin embargo, los metabolitos no absorbibles y fenoles no fermentables permanecen en el lumen del colon, donde pueden contribuir a un ambiente antioxidante (eliminando radicales libres) y contrarrestar los efectos pro-oxidantes de la dieta (Selma *et al.* 2009).

Estudios realizados en animales reportan algunas propiedades biológicas de los polifenoles asociados a la fibra dietaria frente a la salud. Entre las principales propiedades derivadas de estos compuestos se encuentran: (a) un aumento de la excreción de lípidos, proteínas, agua y heces totales; (b) efectos positivos sobre el metabolismo lipídico; (c) aumento de la actividad antioxidante en el intestino grueso, y (e) una inhibición de la proliferación en el epitelio del colon, reduciendo el número total de ratas muertas (Saura-Calixto 2010a). Estos resultados sugieren efectos positivos en la prevención de enfermedades cardiovasculares y también en la salud gastrointestinal, incluida la prevención del riesgo de contraer cáncer de colon. Sin embargo, existe muy poca información que sustente los beneficios de estos compuestos sobre las propiedades relacionadas a la salud.

Hasta el momento son escasos los trabajos que reporten una asociación fisicoquímica entre la fibra dietaria y los compuestos fenólicos, además del estudio sobre el efecto de esta asociación en el efecto biológico de los fenoles. Realizar investigaciones sobre esta asociación puede beneficiar al área de la tecnología de alimentos, en el diseño de alimentos funcionales con un objetivo en específico; además puede proporcionar información importante sobre la absorción de los compuestos fenólicos. Debido a lo anterior, en el presente estudio nos hemos planteado investigar una parte de la asociación de

estos compuestos, estudiando el efecto de la adición de fibra dietaria sobre el potencial antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en extractos de frutas tropicales.

HIPÓTESIS

La presencia y composición de fibra dietaria obtenida a partir de frutas tropicales (piña, papaya, guayaba y mango), afecta el potencial antioxidante de extractos ricos en compuestos fenólicos de estos frutos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de la adición de fibra dietaria sobre el potencial antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en extractos de frutas tropicales (piña, papaya, guayaba y mango).

Objetivos específicos

- Obtener y caracterizar químicamente fibra dietaria y extractos metanólicos de piña cv. 'Esmeralda', guayaba cv. 'Hawaiana blanca', papaya cv. 'Maradol' y mango cv. 'Haden'.
- Evaluar el efecto de la adición de fibra dietaria a extractos metanólicos de piña cv. 'Esmeralda', guayaba cv. 'Hawaiana blanca', papaya cv. 'Maradol' y mango cv. 'Haden' sobre el potencial antioxidante.

- Determinar si la composición de la fibra dietaria tiene un efecto significativo en el potencial antioxidante de extractos metanólicos de frutas tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

En este estudio se utilizaron frutas tropicales en estado maduro de piña cv. 'Esmeralda', guayaba cv. 'Hawaiana blanca', papaya cv. 'Maradol' y mango cv. 'Haden', los cuales se obtuvieron en el Mercado de Abasto "Francisco I. Madero" ubicado en Hermosillo, Sonora. Se seleccionaron frutos libres de defectos y otros desórdenes fisiológicos y se separaron en dos lotes. El primer lote se destinó para la obtención de fibra dietaria y el segundo para los extractos metanólicos. Las frutas tropicales se lavaron con agua, se pelaron y cortaron manualmente, utilizando cuchillos afilados y sanitizados. Para la obtención de extractos metanólicos, se tomaron muestras de pulpa, las cuales fueron liofilizadas y almacenadas a -30 °C para su uso posterior.

Fibra dietaria de frutas tropicales

Extracción de fibra dietaria

La extracción de fibra dietaria de frutas tropicales se realizó mediante la metodología para la obtención de sólidos insolubles en alcohol (SIA) con mínimas modificaciones, descrita por Sañudo-Barajas *et al.* (2009). A 100 g de pulpa picada se le adicionaron 250 mL de etanol al 95%, la mezcla se mantuvo

a ebullición y en agitación constante durante 40 min. Posteriormente, las mezclas se homogenizaron por 1 min a 13,500 rpm con un procesador IKA Ultra turrax. Los sólidos se recuperaron por filtración con papel de fibra de vidrio (GF/A) y a estos se le realizaron dos lavados consecutivos de 20 min en agitación magnética con etanol al 80%, metanol-cloroformo (1:1) y acetona hasta obtener un polvo color blanco. El residuo se seco en una estufa a 40 °C. Una vez seco, se molió en una licuadora para obtener un tamaño de partícula homogéneo. La fibra dietaria obtenida de frutos tropicales se denominó SIA y se almacenó en un desecador para las evaluaciones posteriores.

Caracterización química de los Sólidos insolubles en alcohol (SIA)

Fibra dietaria total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS). La determinación de FDT, FDI y FDS se realizó siguiendo el ensayo Megazyme, un método basado en el método oficial 32-07 (AACC 2000) y el método 991.4 (AOAC 1990). En donde 1 g de SIA fue sometido a una digestión enzimática secuencial con α -amilasa termoestable, proteasa y amiloglucosidasa, para digerir almidón y proteínas; quedando una solución conteniendo el material no digerible. Para la obtención de FDI se filtró la solución y el residuo se lavó con agua destilada caliente. A partir de la solución remanente se obtuvo la FDS mediante un proceso de precipitación con 4 volúmenes de 95% de etanol para determinar FDS. El precipitado se filtró y se secó. El residuo fibroso se corrigió por proteína residual y contaminación por cenizas. Para determinar % de FDT se sumaron los valores de FDI y FDS.

Ácidos urónicos (pectinas) y azúcares totales. El contenido total de ácidos urónicos y azúcares totales de los SIA, se determinaron a partir de la hidrólisis de 2 mg de muestra con H₂SO₄ concentrado. Brevemente, se colocaron los

tubos con muestra y se les adicionó 1 mL de H₂SO₄; a intervalos de 10 min se añadió 1 mL de H₂SO₄, 1 mL de H₂O y finalmente 7 mL de H₂O. La hidrólisis se condujo en condiciones de agitación constante y baño de hielo. El contenido de ácidos urónicos totales se determinó por el método simplificado de Ahmed y Labavitch (1978), que consistió en lo siguiente. A 200 µL del hidrolizado se le adicionaron 1.2 mL de borato de sodio (12.5 14 mM) en H₂SO₄ concentrado y la mezcla se mantuvo por 5 min en baño de agua a 100 °C. La coloración se produjo al añadir 20 µL de *m*-fenil fenol (0.15 %) en NaOH (0.5 %), y la absorbancia se registró a 520 nm con un espectrofotómetro Cary 1E Varian. Se utilizó ácido galacturónico como patrón de calibración. Los azúcares totales se determinaron por el método de antrona (Yemm y Willis 1954), de la siguiente manera. A 100 µL del hidrolizado se añadieron 400 µL de H₂O destilada y 1 mL de antrona (0.2 %) en H₂SO₄ concentrado; se calentó por 10 min en baño de agua a 100° C; se enfrió y se midió la absorbancia a 620 nm con un espectrofotómetro Cary 1E Varian. La concentración se calculó a partir de una curva de calibración con glucosa. Ambos resultados se expresaron como g/100 g de SIA.

Almidón. Para la determinación de almidón primeramente se colocó una muestra de SIA sobre un portaobjetos, y se adicionó una gota de yodo-lugol para teñir de azul los gránulos de almidón. Se colocó encima un cubreobjetos y se observó al microscopio con objetivo de 40 x. Para las muestras que resultaron positivas, se siguió la siguiente metodología. A 100 g de SIA se le añadieron 300 U α -amilasa termostable y 3 mL de amortiguador MOPS (50 mM, pH 7.0) y se hidrolizó durante 10 min en baño de agua a ebullición. Posteriormente, se agregaron 100 U de amiloglucosidasa y 4 mL de acetato de sodio (200 mM, pH 4.5); la mezcla se incubó durante 30 min a 50° C, se enfrió y se centrifugó hasta sedimentación de los sólidos insolubles. Se tomaron por triplicado alícuotas de 100 µL del sobrenadante y se mezclaron con 3 mL del reactivo enzimático glucosa oxidasa/peroxidasa; se incubó por 20 min a 50° C y

se midió la absorbancia a 510 nm en un espectrofotómetro Cary 1E Varian. Los cálculos de concentración se realizaron a partir del estándar de glucosa y los resultados se expresaron como g/100 g de SIA.

Azúcares neutros y celulosa. La determinación de azúcares neutros se realizó por cromatografía de gases con el método de acetatos de alditol propuesto por Albersheim *et al.* (1968) y Blakeney *et al.* (1983). A 2 mg de SIA se hidrolizaron con 500 μ L de ácido trifluoroacético (2 N conteniendo 200 μ g de *mio*-inositol como estándar interno) durante 1 h a 121 °C. La mezcla se enfrió y centrifugó a 10,000 rpm por 10 min; el residuo se considero celulosa. Se tomaron 100 μ L del sobrenadante y se evaporó el solvente en un flujo de aire de nitrógeno. Para la reducción se adicionaron 150 μ L de NaBH₄ (20 mg·mL⁻¹ en NH₄OH 1N) durante 1 h a 25 °C. Para una posterior acetilación se adicionaron 200 μ L de anhídrido acético y 20 μ L de 1-metilimidazol como catalizador, la mezcla se incubó durante 20 min a 121 °C. El material derivatizado se resuspendió en 2 mL de agua y 3 mL de cloroformo. Se recuperó la fase clorofórmica; se evaporó bajo flujo de aire de nitrógeno, y los acetatos de alditol se resuspendieron en 150 μ L de acetona para su inyección en un cromatógrafo de gases Varian CP-3800 con detector FID (250 °C), con columna capilar DB-23 de 30 m x 0.25 mm (210 °C) y helio como gas acarreador (flujo constante de 3 mL·min⁻¹). Los cálculos se realizarán a partir de curvas de estándares de ramnosa, fucosa, arabinosa, xilosa, manosa, galactosa y glucosa. La celulosa se hidrolizó durante 4 h con H₂SO₄ (67%) y se determinó el contenido de azúcares totales por el método de Yemm y Willis (1954) descrito previamente. Ambos resultados se expresaron como g/100 g de SIA.

Extractos metanólicos de frutas tropicales

Preparación de extractos metanólicos

La preparación de los extractos metanólicos se realizó a partir de la pulpa de las frutas tropicales previamente liofilizada. A 1 g de muestra liofilizada de cada una de las frutas se homogenizó (Homogenizador IKA, ultra Turrax, EUA) en 20 mL de metanol al 80%, el homogenizado se colocó en un sonicador (Branson 2510, EUA) por 30 min y se centrifugó a 14,000 rpm durante 15 min a 4 °C. Se realizó un lavado adicional con 10 mL de metanol al 80%. Se recuperó el sobrenadante y se filtró en papel Whatman No. 1. Finalmente el extracto obtenido se llevó a un volumen de 30 mL con metanol al 80% y fue almacenado a -20 °C hasta su uso en las determinaciones de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. La concentración final del extracto fue de 0.033 g/mL.

Determinación de compuestos fenólicos

Fenoles totales. Los fenoles totales se determinaron de acuerdo al método de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi Jr 1965), con algunas modificaciones. Se tomaron 15 µL de extracto, se le agregaron 75 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu 1N (1:10) y 60 µL de carbonato de sodio (Na₂CO₃) al 75%. Seguidamente, se dejó reposar por 2 h en oscuridad y se leyó la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro equipado con un lector de microplacas de 96 pozos (FLUOstar Omega, BMG LABTECH, Durham, EUA). Para todas las muestras se utilizó ácido gálico como curva de referencia. Los resultados se reportaron como mg de equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de peso fresco.

Flavonoides totales. La determinación de flavonoides totales se realizó por el método descrito por Zhishen *et al.* (1999) con algunas modificaciones. Se tomó 1 mL de extracto, al cual se le adicionaron 4 mL de agua deionizada, 300 μ L de NaNO_2 al 5%, 300 μ L de AlCl_3 al 10%, 2mL de NaOH y se llevo a un volumen final de 10.4 mL con agua destilada. Después de 30 min se leyó la absorbancia a 415 nm utilizando un espectrofotómetro equipado con un lector de microplacas de 96 pozos (FLUOstar Omega, BMG LABTECH, Durham, EUA). Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de quercetina (EQ)/100 g de peso fresco.

Capacidad antioxidante

DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidracilo). La capacidad de los extractos metanólicos para inactivar el radical estable DPPH fue calculada por el método descrito por Palafox-Carlos *et al.* (2012). Se prepararon 1.97 mg del radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidracil) en 50 mL de metanol. La solución fue ajustada a una absorbancia inicial de 0.7 ± 0.05 . La reacción se llevó a cabo en 140 μ L de radical + 10 μ L de muestra. La muestra se dejó reposando por 30 min en oscuridad y se leyó a una longitud de onda de 515 nm en un espectrofotómetro equipado con un lector de microplacas de 96 pozos (FLUOstar Omega, BMG LABTECH, Durham, EUA). La actividad se expresó como % de inhibición del radical DPPH.

TEAC (Capacidad antioxidante en equivalentes trolox). El valor de TEAC se determinó de acuerdo a la técnica seguida por Pellegrini *et al.* (1999). Ésta metodología se basa en la capacidad que tienen los antioxidantes presentes en un extracto, para inactivar el radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$ (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-

6-ácido sulfónico)). La reducción del radical fue monitoreada a una longitud de onda de 734 nm en un espectrofotómetro UV-Vis Varian Cary 50 Bio. La actividad antioxidante fue expresada en términos de concentración μ moles de equivalentes Trolox (ET)/100 g de peso fresco.

ORAC (Capacidad de absorción de radicales oxígeno). La capacidad antioxidante medida como ORAC se realizó de acuerdo al método descrito por Cao *et al.* (1993) con algunas modificaciones. Este ensayo se basa en la capacidad de un extracto fenólico para inhibir la acción de radicales peroxilo, generados a partir de la descomposición térmica del 2'2-Azobis (2-metilpropionamidina) dihidrocloruro (AAPH) respecto a una proteína prueba (fluoresceína). Se preparó una curva estándar de Trolox con diferentes concentraciones (200 μ M – 12.5 μ M) en un buffer de fosfato (10 Mm, pH 7.4). El ensayo se llevó a cabo de la siguiente manera: en una microplaca se colocaron por triplicado 150 μ L de fluoresceína 10 nM, después se añadieron 25 μ L de solución estándar, extracto de la muestra y blanco (buffer de fosfato). Posteriormente, se añadieron 25 μ L (240 mM) del radical AAPH mediante una pipeta multi-canal. Las lecturas de fluorescencia se determinaron a una longitud de onda de excitación de 485 nm y 520 nm de emisión (FLUOstar Omega, BMG LABTECH, Durham, EUA) por 90 min a 37 °C. Los resultados se expresaron como μ moles de equivalentes Trolox (ET)/100 g de peso seco.

Efecto de la fibra dietaria sobre el potencial antioxidante de extractos
metanólicos de frutas tropicales

Incubación de sólidos insolubles en alcohol (SIA) y extractos metanólicos de frutas tropicales

Para evaluar el efecto de la fibra sobre la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos se realizó una incubación de sólidos insolubles en alcohol (SIA) y extractos metanólicos obtenidos de frutas tropicales. Las muestras se prepararon con 300 mg de SIA en 6 ml de extracto fenólico, obtenido del mismo fruto. La incubación se realizó a temperatura ambiente y durante 2 h en agitación constante. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 10,000 rpm por 10 min a 4 °C; se recolectó el sobrenadante para evaluar la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos (fenoles y flavonoides totales) contenidos en los extractos metanólicos, ensayos anteriormente descritos. En este ensayo se utilizó un control positivo para cada fruta tropical que consistió en fibra dietaria de trigo.

Dinámica de interacción

Se realizó un ensayo dinámico para conocer el efecto de la adición de fibra dietaria (SIA) sobre la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos de frutas tropicales a diferentes tiempos. Se incubaron 300 mg de SIA en 6 ml de extracto fenólico de cada fruta tropical. La incubación se llevó a cabo a temperatura ambiente y en constante agitación. Las muestras se tomaron a los 0, 10, 30, 60, 90 y 120 min. Posteriormente, se centrifugaron a 10,000 rpm por 10 min a 4 °C. El sobrenadante se recolectó para evaluar la capacidad

antioxidante por el ensayo DPPH anteriormente descrito. Se utilizó un control positivo de fibra dietaria (trigo).

Incubación de extractos metanólicos y fibras purificadas (celulosa y pectina)

Se realizó una incubación de fibras purificadas, celulosa y pectina, individuales y combinadas con los extractos metanólicos obtenidos de frutas tropicales, para evaluar el efecto de las fibras sobre la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos. Se siguió la misma metodología descrita previamente para la incubación de fibra dietaria (SIA) y extractos metanólicos. De manera individual se adicionaron 300 mg de cada una de las fibras purificadas y en combinación fueron 150-150 mg (celulosa-pectina). Se evaluó la capacidad antioxidante por el método de DPPH, ensayo anteriormente descrito.

Análisis estadístico

Los datos de rendimiento de fibra dietaria son solo descriptivos. Las variables de respuesta evaluadas fueron composición de azúcares en los SIA y caracterización antioxidante de los extractos metanólicos de frutas tropicales. Adicionalmente se evaluó el efecto de los SIA sobre la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos, siendo la capacidad antioxidante la variable respuesta. Se realizó un análisis de varianza de una vía y las diferencias entre medias de cada una de las variables respuesta fueron analizadas mediante la prueba de Tukey con un nivel de probabilidad $p < 0.05$. Se utilizó el paquete estadístico NCSS 2007.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención y caracterización de sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales

Los sólidos insolubles en alcohol (SIA) obtenidos en el presente estudio fueron polvos finos de color blanquesino (**Figura 6**), los cuales en general se componen de celulosa, pectina, hemicelulosa, proteínas, lignina y en ocasiones almidón. Por lo anterior, en los frutos que no acumulan almidón ni proteínas, el material extraído representa de manera general a la fibra dietaria. En este estudio los SIA obtenidos representan a la fibra dietaria de frutas tropicales.

El rendimiento obtenido de SIA para cada fruta se muestra en el **Cuadro 3**. El rendimiento de SIA fue mayor en el fruto de guayaba (5.0 g/100 g de peso fresco), seguido del mango (3.4 g/100 g de peso fresco), piña (1.8 g/100 g de peso fresco), y papaya (1.6 g/100 g de peso fresco). Debido a que los SIA obtenidos de frutas tropicales representan de manera general a la fibra dietaria, se procedió a comparar este rendimiento con el contenido de fibra dietaria obtenido por otros métodos. De esta manera, los resultados obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Gorinstein *et al.* (1999) en cuanto al contenido de fibra dietaria en los mismos frutos (guayaba 4.0, mango 3.6, piña 1.7, papaya 1.4 g/100 g de peso fresco). En contraste, Ramulu *et al.* (2003) reportaron valores de fibra dietaria inferiores para mango, piña y papaya con 0.7, 0.5 y 0.8 g/100 g de peso fresco, respectivamente. Adicionalmente, se obtuvo un rendimiento de fibra de trigo (control positivo) de 80 g/100 g de peso fresco; lo que viene a coincidir con la literatura que indica que el contenido de fibra para trigo varía alrededor del 85% (Cara *et al.* 1992).



Figura 6. Sólidos insolubles en alcohol (SIA) de piña cv. 'Esmeralda', mango cv. 'Haden', papaya cv. 'Maradol', guayaba cv. 'Hawaiana blanca' y de trigo.

Cuadro 3. Rendimiento de sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales y trigo (g/100g PF).

Fruta	Rendimiento
Piña cv. 'Esmeralda'	1.8
Mango cv. 'Haden'	3.4
Papaya cv. 'Maradol'	1.6
Guayaba cv. 'Hawaiana blanca'	5.0
Trigo	80.0

La fibra dietaria consiste en una variedad de polisacáridos resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas y se encuentran presentes principalmente en vegetales. En los cereales y frutas, la fibra dietaria está presente en tejidos parenquimatosos como las paredes celulares, existiendo diferencias en su contenido y composición. Estas diferencias se deben a distintos factores como la variedad, condiciones de cultivo y estado de madurez de la planta, así como de la fracción del alimento considerada para la extracción (De la Rosa *et al.* 2010). De esta manera, el rendimiento de SIA obtenido de la pulpa de frutos tropicales varió de 1.6 a 80.0 g/100 g de peso fresco.

Fibra dietaria total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI)

La fibra dietaria total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI) presente en las frutas tropicales y trigo se muestra en el **Cuadro 4**. El contenido de FDT varió significativamente ($p < 0.05$) entre las frutas, con excepción de la piña y papaya, que resultaron ser iguales entre sí. El rango de FDT fue de 3.74 a 15.34 g/100 g de peso fresco. El fruto de guayaba se caracterizó por presentar el mayor contenido de FDT, siendo este resultado mayor al reportado por Mahattanatawee *et al.* (2006) con 4.0 g/100 g peso fresco para guayaba blanca. El fruto de mango presentó el menor contenido de FDT, no obstante, este resultado es mayor al reportado por Mahattanatawee *et al.* (2006) con 1.8 g/100 g de peso fresco. Además, la concentración de FDT en piña y papaya fue mayor a la encontrada por otros autores con 1.42 y 1.8 g/ 100 de peso fresco (U.S. Department of Agriculture ; Mahattanatawee *et al.* 2006). El contenido de FDS se presentó en mayor proporción en las fibras obtenidas de mango y papaya; mientras que la FDI fue mayor en las fibras de piña y guayaba. Ésta proporción coincide con la reportada por Ramulu *et al.* (2003) para los mismos frutos; pudiendo clasificar a los frutos de piña, guayaba y trigo como ricos en fibra insoluble; y al mango y la papaya como frutos ricos en fibra soluble.

Cuadro 4. Fibra dietaria total, soluble e insoluble de los sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales y trigo (g/100 g PF).

Fruta	Fibra Total	Fibra Insoluble	Fibra soluble
Piña cv. 'Esmeralda'	7.11 ^b	6.10 ^c	1.01 ^a
Mango cv. 'Haden'	3.74 ^a	1.34 ^a	2.39 ^c
Papaya cv. 'Maradol'	6.44 ^b	3.07 ^b	3.37 ^c
Guayaba cv. 'Hawaiana blanca'	15.34 ^c	12.99 ^d	2.35 ^b
Trigo	47.12 ^d	43.17 ^e	3.96 ^c

Diferente literal en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre frutas, $n=15$.

A pesar de que la FDT está en función de la fuente de la cual es extraída, también el contenido puede variar dependiendo de la parte del fruto de donde es extraída, como la cáscara o residuos. La FDT se clasifica en soluble e insoluble, en función de su solubilidad en agua. Ambos tipos de fibras exhiben efectos distintos. Generalmente, la fibra obtenida de frutas presenta un porcentaje mayor de fibra soluble, mientras que las fibras de cereales contienen mayor proporción insoluble. En este estudio esta proporción fue diferente ya que algunos frutos presentaron una proporción mayor de fibra insoluble.

Ácidos urónicos, azúcares totales, almidón, celulosa y azúcares neutros

El **Cuadro 5** muestra el perfil general de azúcares presentes en los SIA de frutas tropicales y trigo. Los SIA presentaron variaciones significativas ($p < 0.05$) en el contenido de azúcares totales, almidón, urónicos y celulosa. Los azúcares totales variaron de 47.54 a 91.49 g/100 g de SIA, presentando mayor proporción los SIA de mango. Los SIA de papaya presentaron mayor contenido de ácidos urónicos; mientras que la concentración de celulosa fue mayor en guayaba y piña, no mostrando diferencias significativas ($p > 0.05$) entre ambas. Adicionalmente, solo se detectó almidón en los SIA de mango y trigo (**Figura 7**), siendo mayor la concentración de este compuesto en los SIA de mango (43.69 g/100 g).

Por otra parte, el **Cuadro 6** muestra el perfil individual de azúcares neutros en los SIA de frutas tropicales y trigo. La glucosa resultó ser el azúcar neutro predominante en los SIA de mango, papaya y trigo. En los SIA de piña y guayaba, el azúcar predominante fue la xilosa. Los azúcares fucosa, manosa y ramnosa se conservaron a concentraciones relativamente bajas. Estos resultados coinciden con los reportados por Larrauri *et al.* (1997) para la fibra de piña, en donde se reporta que los azúcares neutros predominantes en este fruto son la xilosa y glucosa, con 36 y 43 g/100 g de fibra dietaria, respectivamente.

Cuadro 5. Composición de azúcares totales, almidón, ácidos urónicos y celulosa en los sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales y trigo (g/100g SIA).

Fruta	Azúcares totales	Almidón	Ácidos urónicos	Celulosa
Piña cv. 'Esmeralda'	50.57 ^{ab}	ND	21.64 ^b	43.33 ^c
Mango cv. 'Haden'	91.49 ^d	43.69 ^b	19.43 ^b	10.63 ^a
Papaya cv. 'Maradol'	47.59 ^a	ND	46.18 ^c	30.12 ^b
Guayaba cv. 'Hawaiana blanca'	56.49 ^b	ND	17.97 ^b	43.64 ^c
Trigo	52.53 ^{ab}	11.99 ^a	5.22 ^a	12.15 ^a

ND= no detectado con prueba de lugol

Diferente literal en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre frutas, n=15.

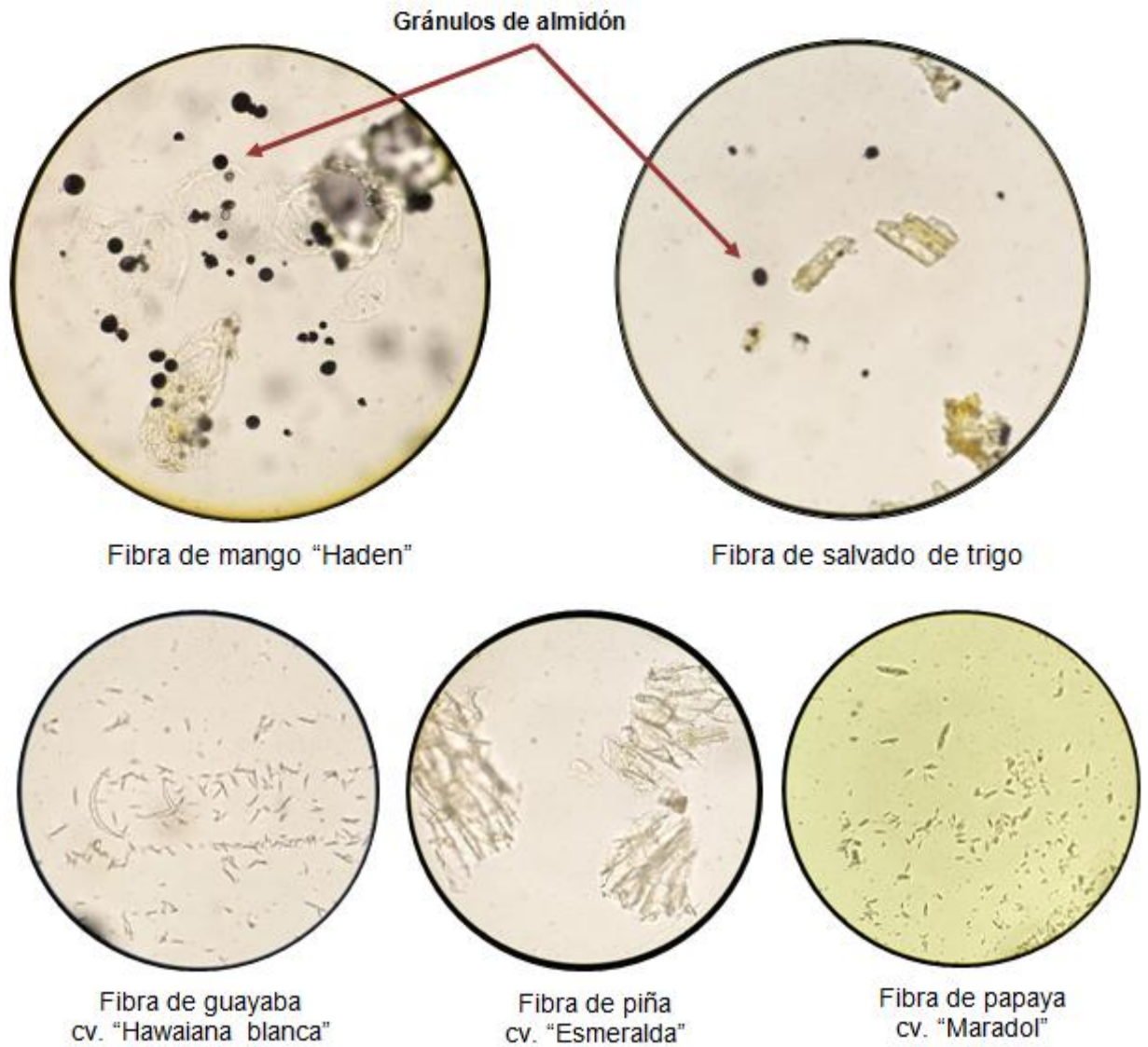


Figura 7. Ensayo para la detección de gránulos de almidón en los sólidos insolubles en alcohol (SIA) de piña cv. 'Esmeralda', mango cv. 'Haden', papaya cv. 'Maradol' y guayaba cv. 'Hawaiana blanca' y trigo a 40 x.

Cuadro 6. Azúcares neutros individuales en los sólidos insolubles en alcohol (SIA) de frutas tropicales y trigo (g/100 g SIA).

Fruta	Ramnosa	Fucosa	Arabinosa	Xilosa	Manosa	Galactosa	Glucosa	Total
Piña cv. 'Esmeralda'	0.79 ^b	0.38 ^b	9.63 ^c	19.52 ^c	1.23 ^c	5.77 ^c	2.91 ^a	40.23 ^{bc}
Mango cv. 'Haden'	0.64 ^b	0.39 ^b	5.12 ^b	2.01 ^a	0.45 ^a	5.09 ^c	75.96 ^c	89.67 ^d
Papaya cv. 'Maradol'	1.03 ^c	0.35 ^b	0.90 ^a	2.74 ^a	0.98 ^b	2.82 ^b	3.05 ^a	11.88 ^a
Guayaba cv. 'Hawaiana blanca'	0.89 ^{bc}	0.31 ^b	5.39 ^b	21.68 ^c	0.43 ^a	2.69 ^b	2.45 ^a	34.12 ^b
Trigo	0.13 ^a	0.04 ^a	10.52 ^d	12.07 ^b	0.40 ^a	1.18 ^c	18.73 ^b	43.07 ^c

Diferente literal en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre frutas, $n = 15$.

No obstante, Ring y Selvendran (1980) reportaron la proporción de azúcares presentes en la fibra de trigo fue: de arabinosa (34 g/100 g), glucosa (32 g/100 g) y xilosa (26 g/100 g). Estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio, siendo la glucosa, xilosa y arabinosa, los azúcares neutros mayoritarios en el trigo. Asimismo, Medlicott *et al.* (1985) reportaron que los azúcares neutros mayoritarios en el mango son la glucosa, sucrosa y fructuosa. En contraste al resultado obtenido, Gómez *et al.* (2002) reportaron que el azúcar mayoritario en la fibra de papaya es la galactosa.

La composición de la fibra dietaria es heterogénea en cada grupo de alimentos y ésta le otorga propiedades fisicoquímicas y funcionales. Dentro de los principales constituyentes de la fibra se encuentran los azúcares, los cuales se cuantifican como azúcares totales y representan al conjunto de glúcidos fácilmente solubilizables; principalmente glucosa, fructuosa, sacarosa, maltosa, dextrina y almidón, sin incluir la parte celulósica (Li *et al.* 2002). El análisis general de azúcares totales muestra que el contenido de carbohidratos en las fibras de frutas tropicales obtenidas es alto, lo que representa un material de excelentes condiciones para la obtención de estos compuestos. Generalmente, la fibra obtenida de frutas presenta mayor proporción de ácidos urónicos, los cuales representan a las pectinas y conforman a la fibra soluble (Chang *et al.* 1998). En este sentido, las fibras obtenidas de los frutos de mango y papaya, presentaron alto contenido de ácidos urónicos, lo que se relaciona con su mayor proporción de fibra soluble. Estos valores son similares a los obtenidos para papaya cv. "Red Lady" (51%) y menores a los de mango maduro (48%) (Mahattanatawee *et al.* 2006). Adicionalmente, el alto contenido de almidón obtenido en la fibra de mango se debe a que éste es un polisacárido predominante en frutos como mango y plátano; está constituido por amilosa y amilopectina y durante la maduración es convertido a glucosa (Millan-Testa *et al.* 2005). Esto se relaciona con el alto contenido de azúcares totales presentes en la fibra de mango. No obstante, la fibra de guayaba mostró mayor contenido de celulosa, lo que se relaciona con su mayor proporción de fibra insoluble. La celulosa es considerada el principal componente de la fibra insoluble,

representando aproximadamente la mitad del contenido de fibra dietaria total en cereales. La fibra de trigo presentó mayor concentración de celulosa. La fibra insoluble se constituye principalmente por celulosa y hemicelulosa, formadas por polímeros llamados xiloglucanos, arabinogalactanos y ramnogalacturonanos cuyos monosacáridos principales son la glucosa, xilosa y arabinosa (Orihuela Meza 2011). Esto se relaciona con el alto contenido de xilosa y arabinosa en las fibras con mayor proporción de fibra dietaria insoluble.

Extractos metanólicos de frutas tropicales

Compuestos fenólicos

El **Cuadro 7** muestra el contenido de fenoles y flavonoides totales presentes en los extractos metanólicos obtenidos a de pulpa de piña, mango, papaya y guayaba. En general, se pueden observar diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de fenoles totales entre frutos; siendo la guayaba el fruto con mayor concentración de estos compuestos (221.83 mg EAG/100g de peso fresco), seguido por la piña (77.59 EAG/100g de peso fresco), el mango (55.85 EAG/100g de peso fresco) y la papaya (51.01 EAG/100g de peso fresco). Estos valores son similares a los reportados por Rosas-Domínguez (2011) para piña cv. 'Esmeralda' (82.31 mg EAG/100 g de peso fresco), por Corral-Aguayo *et al.* (2008) para papaya cv. 'Maradol' (53.1 mg EAG/100 g de peso fresco) y por Rocha Ribeiro *et al.* (2007) para mango cv. 'Haden' (48.40 mg EAG/100 g de peso fresco). Además, Fu *et al.* (2011) reportaron un contenido de fenoles totales para los frutos mango, papaya, guayaba y piña muy similar los obtenidos en el presentaron presente estudio. Sin embargo, el contenido de fenoles totales para guayaba es menor al reportado en guayaba cv 'Allahabad Safeda' (349.9 mg EAG/100 g de peso fresco) por Thaipong *et al.* (2006). En

Cuadro 7. Contenido de fenoles y flavonoides totales en extractos metanólicos de frutas tropicales.

Fruta	Fenoles totales (mg EAG/100g PF)	Flavonoides totales (mg EQ/100g PF)
Piña cv. 'Esmeralda'	77.59 ^b	63.50 ^c
Mango cv. 'Haden'	55.85 ^a	49.39 ^b
Guayaba cv. 'Hawaiana blanca'	51.01 ^a	34.77 ^a
Trigo	221.83 ^c	105.94 ^d

Diferente literal en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre frutas, $n=12$.

cuanto al contenido de flavonoides totales, éste mostró la misma tendencia a la presentada por fenoles totales entre frutos. El fruto de guayaba presentó mayor concentración (108.28 mg EQ/100 g de peso fresco), seguido de la piña, mango y papaya. Rosas-Domínguez (2011) reporta valores similares para piña cv. 'Esmeralda' (78.81 mg EQ/100g de peso fresco); mientras que el valor obtenido para mango cv. 'Haden' fue superior al reportado por Robles-Sánchez *et al.* (2009) en mango cv. 'Kent' (20 mg EQ/100 g de peso fresco). Algunos resultados reportados por otros autores muestran valores diferentes a los obtenidos en el presente estudio, sin embargo esto depende del producto en cuestión.

Los compuestos fenólicos están ampliamente distribuidos en las frutas y sus efectos sobre la salud han sido ampliamente estudiados. En general, existen varios métodos para la evaluación del contenido de fenoles, siendo el más común el método de Folin-Ciocalteu. Sin embargo, este método tiende a la vez a cuantificar contenido de vitamina C, ya que el protocolo de Folin-Ciocalteu incluye contribución del L-ácido ascórbico, azúcares reductores, solubles, proteínas y otras sustancias (Robles-Sánchez *et al.* 2009). En este sentido, en frutos con altos contenidos de vitamina C, como la piña, el mango y la guayaba, los valores de fenoles totales podrían estar sobrestimados. Por otra parte, la variación del contenido de compuestos fenólicos en los frutos depende de muchos factores. Principalmente destacan las variaciones genéticas de los cultivares, prácticas agronómicas, manejo y tratamiento poscosecha, así como al estado de madurez del fruto. El contenido de compuestos fenólicos va disminuyendo conforme el fruto va madurando, esto debido a su conversión en compuestos más simples. Los compuestos fenólicos tienen la característica de ser astringentes y conforme el fruto va madurando, este sabor se va perdiendo. Un ejemplo es la síntesis de antocianinas a partir de las grandes cantidades de taninos presentes en frutos no maduros (Lim *et al.* 2007). El alto contenido compuestos fenólicos presentes en los frutos verdes, se relaciona a una protección y resistencia de la planta contra insectos y patógenos. No obstante, la cáscara de frutas, así como las semillas, se caracterizan por ser fuente rica

en compuestos fenólicos (Ayala-Zavala *et al.* 2011).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos de pulpa de piña, mango, papaya y guayaba evaluada por medio de las técnicas de DPPH, TEAC y ORAC se muestra en el **Cuadro 8**. Los valores de capacidad antioxidante presentados por los extractos metanólicos en todos los ensayos, mostraron un comportamiento similar, siendo los extractos de guayaba y piña los que presentaron la mayor y menor capacidad antioxidante, respectivamente. En el caso específico de la inhibición del radical DPPH, los extractos mostraron porcentajes que oscilaron entre de 46.54 y 88.88 %. Porcentajes similares fueron reportados para piña cv. 'Esmeralda' y piña 'Gold', con 38.98 y 43.1%, respectivamente (Rosas-Domínguez 2011; Montero-Calderón *et al.* 2010); así como para mango cv. 'Ataulfo', papaya cv. 'Maradol' y guayaba cv. 'Media china' (Corral-Aguayo *et al.* 2008). En cuanto a la actividad antioxidante en los extractos metanólicos medida como TEAC, esta varió de 189.50 a 959.17 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco. Estos resultados fueron inferiores a los reportados por Corral-Aguayo *et al.* (2008) para papaya cv. 'Maradol', mango cv. 'Ataulfo' y guayaba cv. 'Media china' (600, 868 y 2243 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco), respectivamente. Sin embargo, el valor obtenido para el extracto de piña es superior al presentado por Rosas-Domínguez (2011) para piña cv. 'Esmeralda' (14 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco). Así mismo, Fu *et al.* (2011) reportaron valores de TEAC superiores a los obtenidos en este estudio para guayaba con 1518.18 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco, mango con 400.01 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco y piña con 593 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco. En cuanto al fruto de papaya, el valor reportado fue menor, con 292 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco.

Cuadro 8. Capacidad antioxidante por los métodos DPPH, TEAC y ORAC en extractos metanólicos de frutas tropicales.

Fruta	DPPH (% inhibición)	TEAC ($\mu\text{mol ET}/100\text{g PF}$)	ORAC ($\mu\text{mol ET}/100\text{g PF}$)
Piña cv.			
'Esmeralda'	46.56 ^a	189.50 ^a	123.30 ^a
Mango cv.			
'Haden'	68.05 ^c	224.45 ^a	181.30 ^b
Papaya cv.			
'Maradol'	63.14 ^b	325.76 ^b	133.57 ^a
Guayaba cv.			
'Hawaiana blanca'	88.88 ^d	959.17 ^c	260.30 ^c

CE = 0.033 mg/mL

Diferente literal en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre frutas, $n=12$.

Adicionalmente, los valores de capacidad antioxidante obtenidos mediante la técnica de ORAC, variaron de 123.30 a 260.30 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco. Estos resultados son inferiores a los reportados para papaya cv. 'Maradol', mango cv. 'Haden' y guayaba cv. 'Media china' (330, 4000 y 420 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco por Corral-Aguayo *et al.* (2008) Y Mahattanatawee *et al.* (2006) con 530, 220 y 990 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ de peso fresco, respectivamente. En general, la capacidad antioxidante de los frutos estudiados fue alta, en comparación a frutos como el plátano, pera, melón y pitahaya (Fu *et al.* 2011).

La capacidad antioxidante de las frutas está en función del potencial antioxidante otorgado por los compuestos bioactivos presentes en ellas. Entre los principales compuestos destacan las vitaminas C y E, carotenoides y compuestos fenólicos. En general, la vitamina C se encuentra uniformemente distribuida en la pulpa de las frutas, mientras que los carotenoides se encuentran principalmente en la superficie externa de los tejidos, como el pericarpio y la cáscara. Los compuestos fenólicos se localizan and la cáscara, semilla y la pulpa (Ayala-Zavala *et al.* 2011). En este sentido, el valor de capacidad antioxidante de los frutos estudiados se atribuye principalmente a la presencia de los compuestos fenólicos así como a la vitamina C; la cual confiere una alta capacidad antioxidante. Aunado a esto, las variaciones de capacidad antioxidante presentadas entre frutos como entre estudios se pueden atribuir a la variedad genética y al estado de madurez de los frutos. Esto ya que conforme el fruto va madurando, la presencia de compuestos bioactivos va cambiando, debido a su conversión en compuestos más simples.

Efecto de la adición de sólidos insolubles en alcohol (SIA) sobre el potencial antioxidante y compuestos bioactivos de extractos metanólicos de frutas tropicales

Capacidad antioxidante

El efecto de la adición de fibra dietaria de frutos tropicales y trigo sobre la capacidad antioxidante (DPPH) de extractos metanólicos de piña, mango, papaya y guayaba, se muestra en la **Figura 8**. Al adicionarse fibra de frutos tropicales se puede observar un decremento en el porcentaje de inhibición del radical DPPH en los extractos de todos los frutos, siendo significativo ($p < 0.05$) en los frutos de piña, mango y papaya. La fibra de guayaba disminuyó la capacidad antioxidante del extracto, sin embargo, no fue significativa. El extracto fenólico de mango disminuyó su capacidad antioxidante en mayor proporción con 20.98%, seguido de la papaya con 8.35%, piña con 5.26% y guayaba con 4.42%. En cuanto a la adición de fibra de trigo, de naturaleza insoluble, se observó una disminución significativa ($p < 0.05$) en la capacidad antioxidante de todos los extractos metanólicos. Este tipo de fibra disminuyó en mayor proporción la capacidad antioxidante, siendo el extracto de piña el de mayor disminución con un 44.35%, seguido del mango con 39.30%, papaya con 31.22% y guayaba con 23.39%.

Los resultados obtenidos sugieren que existe una interacción *in vitro* entre la fibra dietaria y los compuestos fenólicos, ya que la capacidad antioxidante de los extractos disminuyó. El complejo grupo de polisacáridos que conforman a la fibra dietaria tiene la capacidad de actuar atrapando o formando interacciones físico-químicas con los compuestos fenólicos, impidiendo así su acción como antioxidantes (Serrano *et al.* 2009a). Este tipo de interacciones puede darse por puentes de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y enlaces

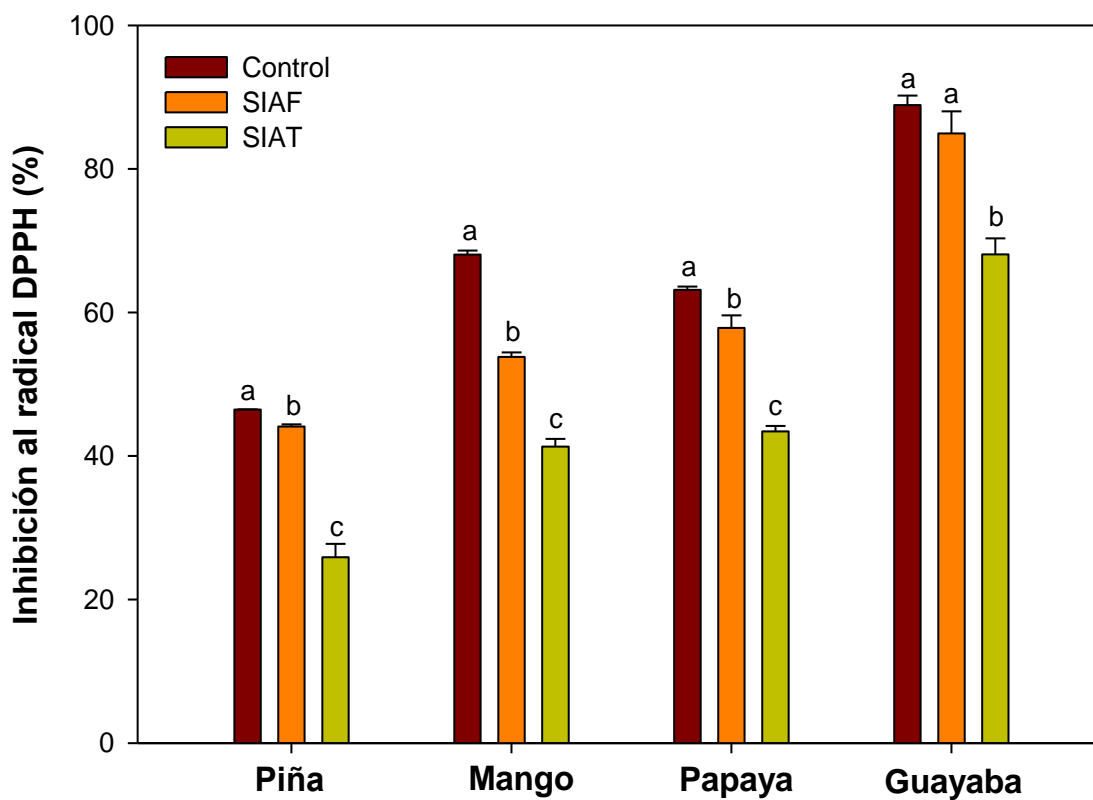


Figura 8. Capacidad antioxidante (DPPH) de extractos metanólicos de frutas tropicales con la adición de 300 mg sólidos insolubles en alcohol de frutas tropicales (SIAF) y sólidos insolubles en alcohol de trigo (SIAT). CE = 0.033 mg/mL. Diferente literal en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tipos de fibras, $n = 12$.

covalentes ó bien simplemente por un atrapamiento físico (Saura-Calixto 2010a). No obstante, la solubilidad de las fibras participa como un factor clave. Comparando entre tipos de fibras, la fibra de trigo disminuyó en mayor proporción la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos de frutas tropicales. La fibra de trigo está constituida principalmente por celulosa. De acuerdo con la arquitectura de la celulosa, ésta es más a fin en el atrapamiento ó enlace de compuestos fenólicos (Le Bourvellec *et al.* 2004). Además, la celulosa al estar en contacto con el agua ó soluciones acuosas, forma fibras compactas mediante múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas de glucosa. De esta manera, algunos compuestos fenólicos pueden quedar atrapados en su estructura, impidiendo así su bioaccesibilidad.

En cuanto a las fibras de frutas tropicales, las fibras de mango y papaya fueron las que disminuyeron en mayor proporción la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos. Estas fibras se caracterizaron por presentar mayor composición de ácidos urónicos (pectinas), así como alta presencia de celulosa. Padayachee *et al.* (2012b) reportaron que la celulosa y pectina presente en diferentes frutas y vegetales tienen la capacidad de enlazar ó atrapar compuestos fenólicos. Lo anterior puede resultar de lo siguiente: los compuestos fenólicos pueden estar interactuando mediante interacciones no covalentes con los azúcares neutros (arabinanos y galactanos) presentes en las cadenas de pectinas, esto debido a las diferencias entre cargas de moléculas. O bien, la porción de ácido poligalacturónico de las pectinas, puede formar un complejo con diferentes antioxidantes a través de iones de Ca^{2+} , los cuales son los principales cationes presentes en las paredes celulares (Padayachee *et al.* 2012a). Este complejo puede impedir el efecto ó acción antioxidante de los compuestos fenólicos. Por otra parte, los azúcares neutros mayoritarios identificados en las fibras ricas en fibra insoluble (xilosa, arabinosa) y las fibras ricas en fibra soluble (glucosa y galactosa) pudieran estar participando de manera directa en la interacción con los compuestos fenólicos, facilitando su interacción física.

No obstante, varios autores han reportado interacciones entre estos compuestos. Sun-Waterhouse *et al.* (2008) reportaron una interacción favorable entre la fibra dietaria de cebolla y el ácido ascórbico, ya que al unirse se impide la degradación de ésta vitamina antioxidante. Padayachee *et al.* (2012a) demostraron que la celulosa y pectina interaccionan con las antocianinas y ácidos fenólicos presentes en un jugo de zanahoria, afectando su bioaccesibilidad. También se han reportado interacciones entre la fibra dietaria y algunos fármacos (Reppas *et al.* 1998; Richter *et al.* 1991).

Compuestos fenólicos

El efecto de la adición de fibra dietaria a extractos metanólicos de frutos tropicales sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales se puede observar en la **Figura 9** y **Figura 10**, respectivamente. Los fenoles totales disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) en todos los frutos al adicionarse ambos tipos de fibras. La fibra dietaria de frutas disminuyó mayoritariamente el contenido de fenoles totales en mango con 23.72%, seguido de la papaya con 13.06%, la piña con 10.82% y la guayaba con 5.86 %. Estos resultados coinciden con la tendencia en la disminución de capacidad antioxidante (DPPH) al adicionarse el mismo tipo de fibra. En cuanto a la adición de fibra de trigo, el contenido de fenoles totales se vio afectado en mayor proporción. El extracto de mango disminuyó mayoritariamente el contenido de fenoles totales con un 38%, seguido de la papaya con 31.30%, piña con 28.77% y guayaba con 16.17. El contenido de flavonoides totales en el fruto de mango disminuyó significativamente ($p < 0.05$) con la adición de ambos tipos de fibras; sin embargo la disminución en el contenido de flavonoides totales en piña, papaya y guayaba no fue significativa ($p > 0.05$) con la adición de la fibra de los mismos frutos. No obstante, la adición de fibra de trigo causó un efecto significativo ($p < 0.05$) en la disminución de flavonoides totales para todos los frutos. Estos compuestos

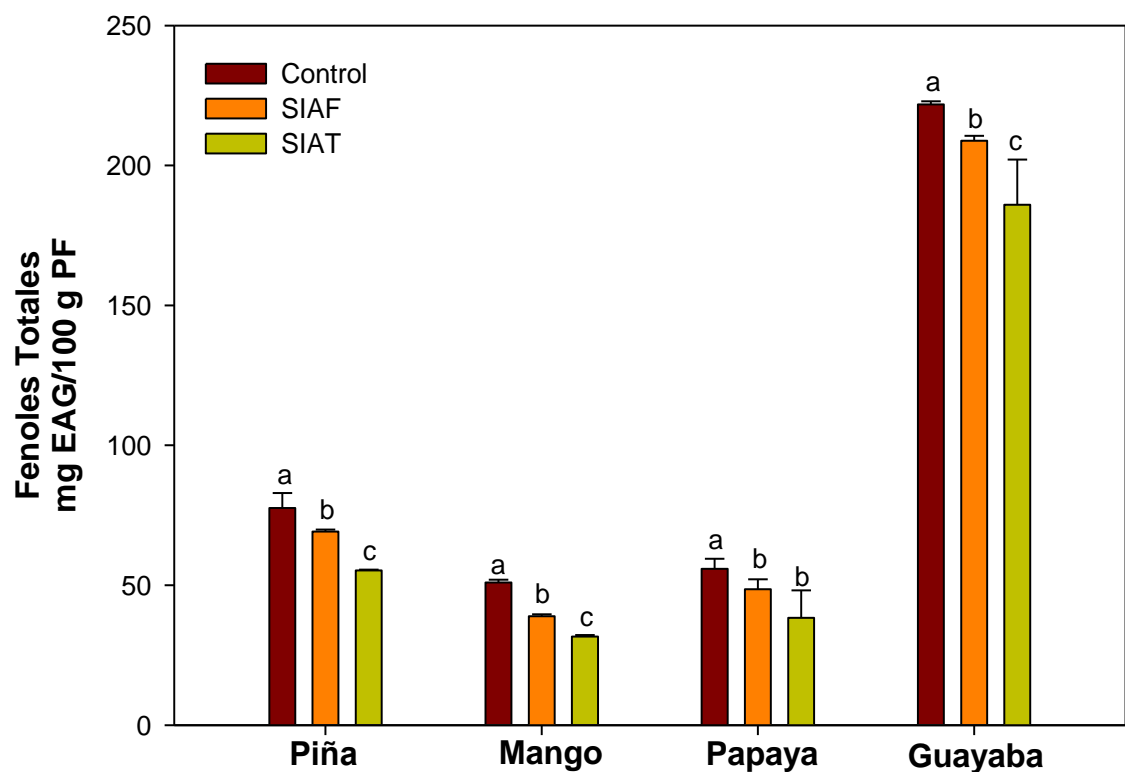


Figura 9. Contenido de fenoles totales de extractos metanólicos de frutas tropicales con la adición de 300 mg de frutas tropicales (SIAF) y sólidos insolubles en alcohol de trigo (SIAT). CE = 0.033 mg/mL. Diferente literal en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tipos de fibras, $n = 12$.

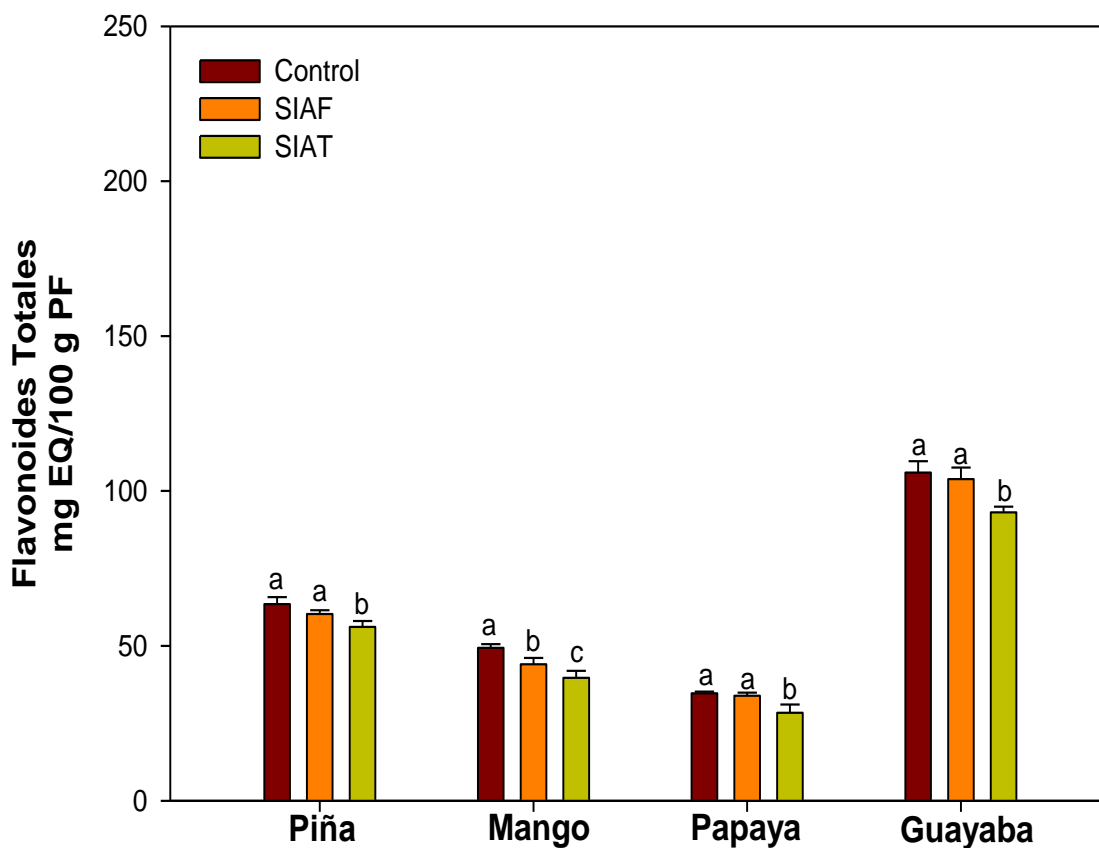


Figura 10. Contenido de flavonoides totales de extractos metanólicos de frutas tropicales con la adición de 300 mg sólidos insolubles en alcohol de frutas tropicales (SIAF) y sólidos insolubles en alcohol de trigo (SIAT). CE = 0.033 mg/mL. Diferente literal en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tipos de fibras, $n = 12$.

disminuyeron en menor proporción, siguiendo una tendencia similar a la presentada en la disminución de fenoles totales con la adición de ambos tipos de fibra. La adición de fibra dietaria de frutas disminuyó en mayor porcentaje el contenido de flavonoides totales en mango con 10.73%, seguido de la guayaba con 4.11%, la piña con 3.28% y la papaya con 2.39%. Mientras que la fibra de trigo disminuyó la concentración de flavonoides en mayor proporción. Siendo el extracto de mango el que tuvo mayor porcentaje de disminución con 19.65%, seguido de la papaya con 18.12%, la guayaba con 13.98% y la piña con 8.49%.

Los compuestos fenólicos presentes en el extracto fenólico de mango disminuyeron en mayor porcentaje con la adición de ambos tipos de fibras dietaria. Estos resultados podrían deberse a que los fenoles presentes en este fruto tienden a interactuar con los polisacáridos, con mayor facilidad. Los polisacáridos que interactúan con los compuestos fenólicos incluyen al grupo carboxilo del ácido urónico y al hidroxilo presente en la celulosa (Vitaglione *et al.* 2008).

Dinámica de interacción

Los componentes presentes en la fibra dietaria y los compuestos fenólicos presentes en las frutas tropicales pueden interactuar de manera física, interfiriendo en la actividad antioxidante de los fenoles (Padayachee *et al.* 2012a). La **Figura 11** muestra una interacción de manera dinámica de la adición de fibra dietaria de frutas tropicales y fibra de trigo, sobre la capacidad antioxidante de extractos metanólicos de frutas tropicales con respecto al tiempo. Se calcularon las pendientes (m) de la curva para estimar la velocidad inicial de interacción entre la fibra dietaria y los compuestos fenólicos. La adición de la fibra de frutas tropicales muestra una disminución lenta y constante en la capacidad antioxidante de los extractos. Las pendientes calculadas resultaron negativas, ya que la capacidad antioxidante fue disminu-

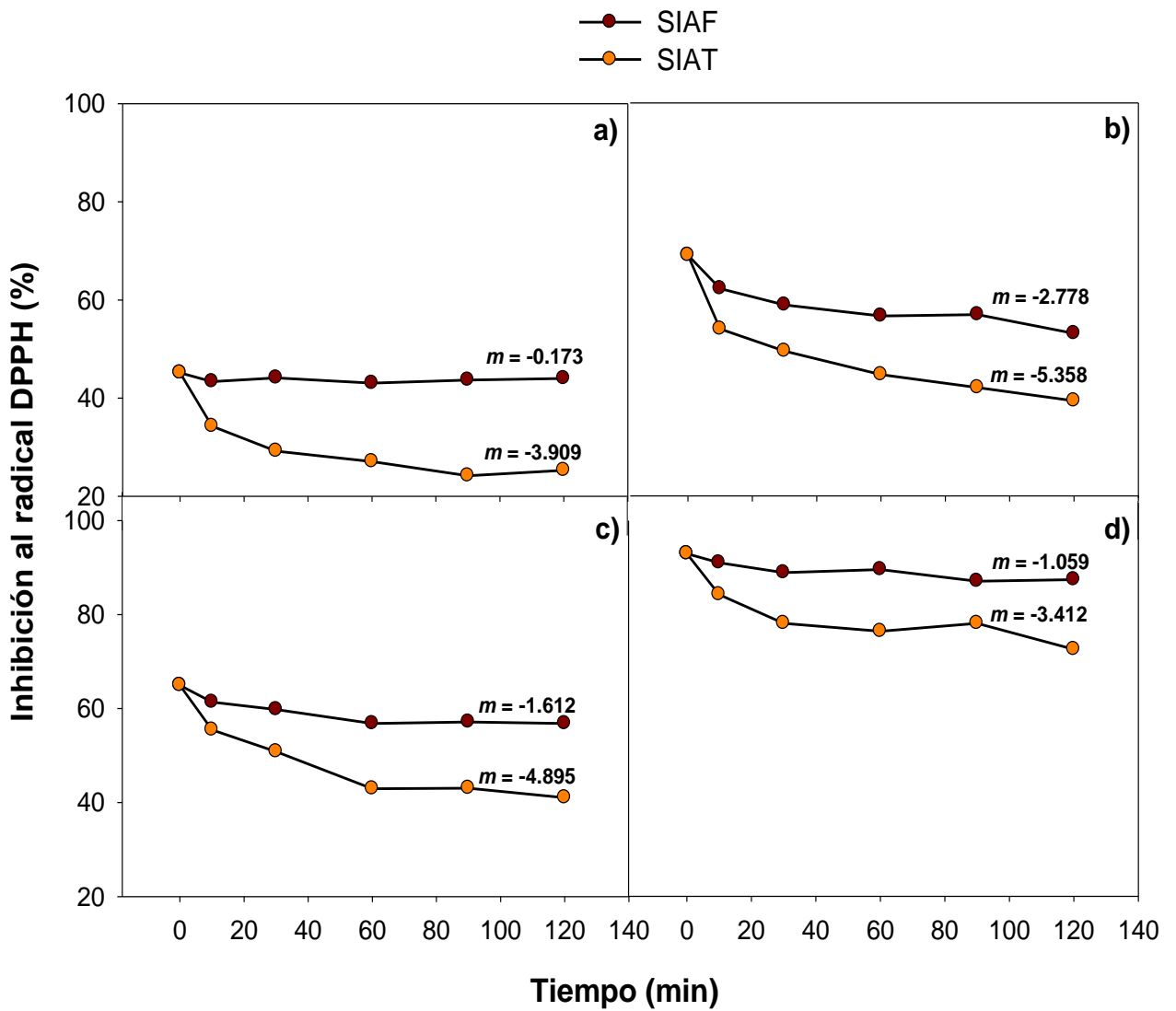


Figura 11. Capacidad antioxidante (DPPH) de extractos metanólicos de a) piña, b)mango, c) papaya y d) guayaba con la adición de sólidos insolubles en alcohol de frutas tropicales (SIAF) y sólidos insolubles en alcohol de trigo (SIAT), respecto al tiempo. CE = 0.033 mg/mL.

yendo con el tiempo. Las pendientes calculadas en la adición de la fibra de frutas variaron de -0.17 a -2.77 % inhibición al radical DPPH/min. La adición de fibra de trigo muestra una disminución de la capacidad antioxidante de los extractos más rápida. Las pendientes calculadas para este tipo de fibra fueron mayores y variaron de -3.41 a -5.35 inhibición al radical DPPH/min. Con la adición de ambos tipos de fibras, el fruto de mango resulto el de mayor pendiente.

La literatura indica que entre más cercana a 0 sea la pendiente, menor velocidad de la reacción. En general, las pendientes obtenidas al adicionarse fibra de frutas fue menor (más cercana a 0), por lo tanto la velocidad de reacción fue más lenta. Sin embargo, la adición de fibra de trigo presentó pendientes más elevadas y alejadas al valor de 0, lo que indica una velocidad de reacción mayor. El fruto de mango mostró mayor pendiente en ambas fibras, lo que podría relacionarse con la mayor disminución de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en este tipo de fruto. La interacción física o de atrapamiento entre estos compuestos se está llevando a cabo más fácilmente y de manera más rápida, en comparación con el resto de los frutos tropicales.

Incubación de extractos metanólicos y fibras purificadas (celulosa y pectina)

La **Figura 12** muestra el efecto de la adición individual y en combinación de fibras purificadas (celulosa y pectina) sobre la capacidad antioxidante (DPPH) de los extractos metanólicos de frutas tropicales. La adición individual de ambos tipos de fibras, así como su combinación disminuyó de manera significativa ($p < 0.05$) la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos. La celulosa disminuyó en mayor porcentaje la capacidad antioxidante de los extractos, variando de 16 a 25% el porcentaje de disminución. La combinación de ambas

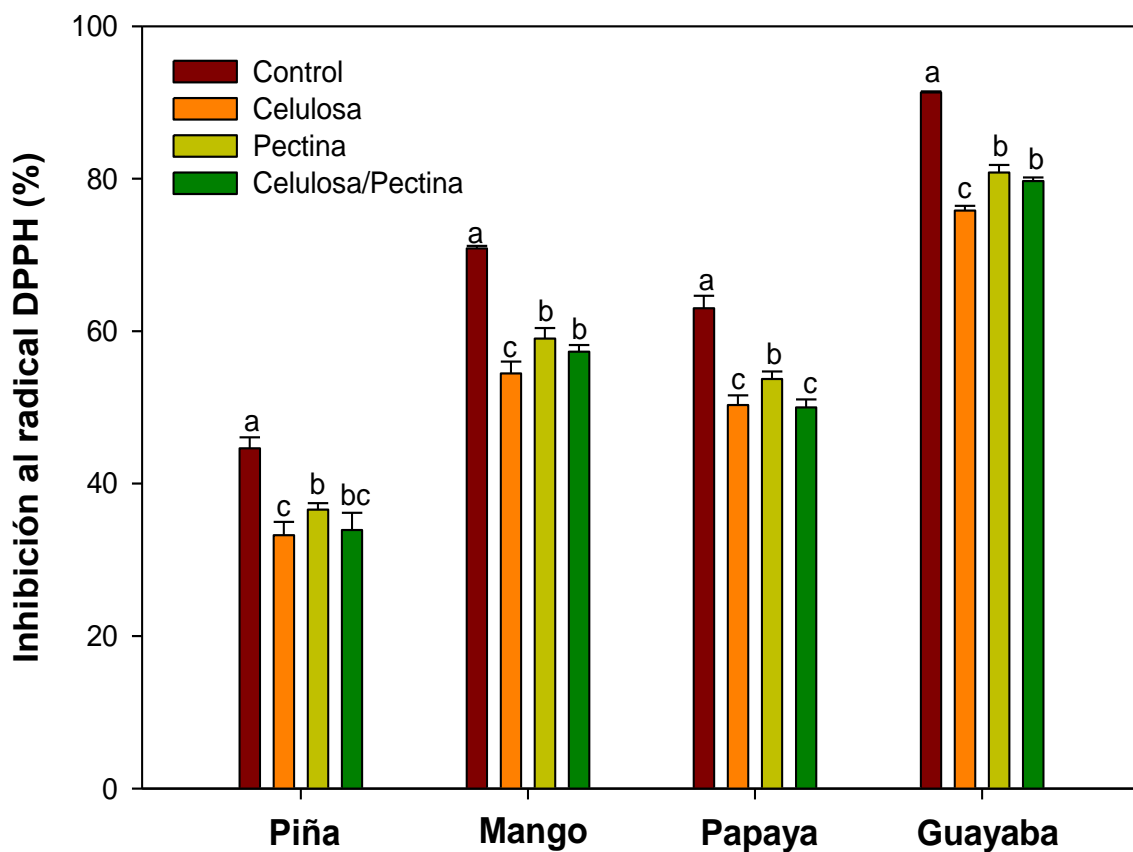


Figura 12. Capacidad antioxidante (DPPH) de extractos metanólicos de frutas tropicales con la adición de 300 mg de celulosa pectina y combinación de ambas. CE = 0.033 mg/mL. Diferente literal en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tipos de fibras, $n = 12$.

fibras (celulosa + pectina) disminuyó de 12 a 24% la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos. Mientras que la adición de pectina disminuyó en menor proporción, siendo de 11 a 17%. Ambas fibras disminuyeron en mayor proporción la capacidad antioxidante del extracto de piña, y en menor proporción el extracto de guayaba.

Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos previamente, los cuales atribuyen que la fibra insoluble, conformada principalmente por celulosa, disminuye en mayor proporción la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos de frutas tropicales. La fibra soluble, constituida mayoritariamente por ácido galacturónico, los cuales forman a las pectinas, afecta la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos en menor porcentaje en comparación a la fibra insoluble. Estudios previos confirman que ciertos tipos de fibras pueden interaccionar con otros compuestos, como medicamentos, lípidos, vitaminas, así como con compuestos fenólicos (Saura-Calixto *et al.* 2007; Pérez-Jiménez *et al.* 2009; Sun-Waterhouse *et al.* 2008; Richter *et al.* 1991)

Como resumen de resultados podemos decir que las fibras obtenidas de los frutos de piña y guayaba presentaron una mayor proporción de celulosa que corresponde a la fracción insoluble de la fibra dietaria. Mientras que las fibras obtenidas de mango y papaya presentaron un mayor contenido de pectina, por lo que se consideran fibras solubles. La adición de las fibras obtenidas de frutos tropicales disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) el contenido de fenoles y flavonoides totales y la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos pero en menor porcentaje (4-20%) que la fibra de trigo (23.45%). La interacción dinámica muestra que la adición de fibra dietaria de frutas disminuye en menor tiempo la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos en comparación con la de trigo. Sin embargo, se pudo observar que la adición de fibra de trigo afectó en mayor proporción la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos. En este sentido, se puede decir que la composición de la fibra dietaria tiene un efecto significativo en el atrapamiento de los compuestos fenólicos. Al parecer la mayor proporción de celulosa y pectina presente en las fibras de frutas tropicales, son las principales

responsables de la disminución de la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a lo anterior, se concluye que la fibra dietaria presente en frutos tropicales, así como la fibra de trigo, tienen la capacidad para interactuar fisicoquímicamente pero de diferente manera con los compuestos fenólicos, afectando su bioaccesibilidad y en consecuencia disminuyendo la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos de los diferentes frutos tropicales.

El estudio de interacciones fisicoquímicas utilizando técnicas analíticas (Infrarrojo, RMN, calorimetría, voltametría, Rayos X) son el siguiente paso para conocer en mayor detalle el tipo de interacciones que se pueden tener entre los diferentes tipos de compuestos fenólicos y otros antioxidantes presentes en el extracto metanólico, con la fibra dietaria.

REFERENCIAS

- AACC. 2000. Approved Methods of the AACC. AACC-Method 56-30. AACC-Method 74-09. AACC-Method 32-07. AACC-Method 44-15. AACC-Method 08-01 10th ed.
- Adiotomre J, Eastwood M, Edwards CA y Brydon WG. 1990. Dietary fiber: in vitro methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* 52(1):128-132.
- Ahmed AELR y Labavitch JM. 1978. A simplified method for accurate determination of cell wall uronide content. *Journal of Food Biochemistry* 1(4):361-365.
- Ajila C, Aalami M, Leelavathi K y Rao U. 2010. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 11(1):219-224.
- Alamed J, Chaiyasit W, McClements DJ y Decker EA. 2009. Relationships between free radical scavenging and antioxidant activity in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(7):2969-2976.
- Albersheim P. 1968. A method for the analysis of sugars in plant cell wall polysaccharides by gas liquid chromatography. *Carbohydrate Research* 5:340-345.
- Anderson JW, Baird P, Davis Jr RH, Ferreri S, Knudtson M, Koraym A, Waters V y Williams CL. 2009. Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews* 67(4):188-205.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis. AOAC International.
- Ayala-Zavala J, Vega-Vega V, Rosas-Domínguez C, Palafox-Carlos H, Villa-Rodríguez J, Siddiqui MW, Dávila-Aviña J y González-Aguilar G. 2011. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*.
- Beever D y Hopkirk G. 1990. Fruit development and fruit physiology. *Kiwifruit: science and management*. Auckland: Ray Richards Publishers:97-126.
- Blakeney AB, Harris PJ, Henry RJ y Stone BA. 1983. A simple and rapid preparation of alditol acetates for monosaccharide analysis. *Carbohydrate Research* 113(2):291-299.
- Cao G, Alessio HM y Cutler RG. 1993. Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine* 14(3):303-311.
- Cara L, Dubois C, Borel P, Armand M, Senft M, Portugal H, Pauli A, Bernard P y Lairon D. 1992. Effects of oat bran, rice bran, wheat fiber, and wheat germ on postprandial lipemia in healthy adults. *The American Journal of Clinical Nutrition* 55(1):81-88.
- Corral-Aguayo RD, Yahia EM, Carrillo-Lopez A y González-Aguilar G. 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(22):10498-10504.
- Chang SC, Lee MS, Lin CJ y Chen ML. 1998. Dietary fiber content and composition of fruits in Taiwan. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 7:206-210.
- De la Rosa LA, Álvarez-Parrilla E y González-Aguilar G. 2010. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value and Stability*. Wiley-Blackwell.

- Denny A y Buttriss J. 2007. Plant foods and health: Focus on plant bioactives. European Food Information Resource (EuroFIR) Consortium Funded under the EU 6th Framework Food Quality and Safety Thematic Priority. Contract FOOD-CT-2005-513944.
- DeVries JW. 2004. Dietary fiber: the influence of definition on analysis and regulation. *Journal of AOAC International* 87(3):682-706.
- Di Carlo G, Mascolo N, Izzo AA y Capasso F. 1999. Flavonoids: old and new aspects of a class of natural therapeutic drugs. *Life Sciences* 65(4):337-353.
- Díaz-Rubio ME, Pérez-Jiménez J y Saura-Calixto F. 2008. Dietary fiber and antioxidant capacity in *Fucus vesiculosus* products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 60(S2):23-34.
- Díaz-Rubio ME, Pérez-Jiménez J y Saura-Calixto F. 2009. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. *Food Research International* 42(7):840-846.
- Díaz-Rubio ME y Saura-Calixto F. 2006. Dietary fiber in wine. *American journal of enology and viticulture* 57(1):69.
- FAO. 2010. Food and Agricultural commodities production. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Faulks RM y Southon S. 2005. Challenges to understanding and measuring carotenoid bioavailability. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease* 1740(2):95-100.
- Figuerola F, Hurtado ML, Estévez AM, Chiffelle I y Asenjo F. 2005. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry* 91(3):395-401.
- Fu L, Xu BT, Xu XR, Gan RY, Zhang Y, Xia EQ y Li HB. 2011. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*.
- Gómez M, Lajolo F y Cordenunsi B. 2002. Evolution of soluble sugars during ripening of papaya fruit and its relation to sweet taste. *Journal of Food Science* 67(1):442-447.
- González-Aguilar G, Robles-Sánchez R, Martínez-Tellez M, Olivas G, Alvarez-Parrilla E y De la Rosa L. 2008. Bioactive compounds in fruits: health benefits and effect of storage conditions. *Stewart Postharvest Review* 4(3):1-10.
- González-Centeno M, Rosselló C, Simal S, Garau M, López F y Femenia A. 2010. Physico-chemical properties of cell wall materials obtained from ten grape varieties and their byproducts: grape pomaces and stems. *LWT-Food Science and Technology* 43(10):1580-1586.
- Gorinstein S, Zemser M, Haruenkit R, Chuthakorn R, Grauer F, Martin-Belloso O y Trakhtenberg S. 1999. Comparative content of total polyphenols and dietary fiber in tropical fruits and persimmon. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 10(6):367-371.
- Hawker J, Jenner C y Niemietz C. 1991. Sugar metabolism and compartmentation. *Functional Plant Biology* 18(3):227-237.
- Holst B y Williamson G. 2008. Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Current Opinion in Biotechnology* 19(2):73-82.
- Hulme AC. 1971. The biochemistry of fruits and their products. Vol. 2. The biochemistry of fruits and their products. Vol. 2.
- Jiménez-Escrig A, Rincón M, Pulido R y Saura-Calixto F. 2001. Guava fruit (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(11):5489-5493.
- Kader AA. 2002. Postharvest technology of horticultural crops. *Agriculture & Natural Resources*.
- Knee M. 2002. Fruit quality and its biological basis. Blackwell.

- Kortbech-Olesen R. 1996. Tropical fruit products: a well established market.
- Lafay S y Gil-Izquierdo A. 2008. Bioavailability of phenolic acids. *Phytochemistry Reviews* 7(2):301-311.
- Larrauri JA, Rupérez P y Calixto FS. 1997. Pineapple shell as a source of dietary fiber with associated polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45(10):4028-4031.
- Le Bourvellec C, Guyot S y Renard C. 2004. Non-covalent interaction between procyanidins and apple cell wall material: Part I. Effect of some environmental parameters. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects* 1672(3):192-202.
- Lelièvre JM, Latche A, Jones B, Bouzayen M y Pech JC. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum* 101(4):727-739.
- Li BW, Andrews KW y Pehrsson PR. 2002. Individual sugars, soluble, and insoluble dietary fiber contents of 70 high consumption foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 15(6):715-723.
- Lim Y, Lim T y Tee J. 2007. Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry* 103(3):1003-1008.
- Lunn J y Buttriss J. 2007. Carbohydrates and dietary fibre. *Nutrition Bulletin* 32(1):21-64.
- Mahattanatawee K, Manthey JA, Luzio G, Talcott ST, Goodner K y Baldwin EA. 2006. Total antioxidant activity and fiber content of select Florida-grown tropical fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(19):7355-7363.
- Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C y Jiménez L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79(5):727.
- Manach C, Williamson G, Morand C, Scalbert A y Rémésy C. 2005. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. *The American Journal of Clinical Nutrition* 81(1):230-242.
- Medlicott AP y Thompson AK. 1985. Analysis of sugars and organic acids in ripening mango fruits (*Mangifera indica* L. var Keitt) by high performance liquid chromatography. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36(7):561-566.
- Metzler B y Mosenthin R. 2008. A review of interactions between dietary fiber and the gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism in growing pigs. *Asian-Australian Journal of Animal Sciences* 21(4):603-615.
- Michaelides J y Cooper K. 2005. Dietary Fibre: Part 2. *Food in Canada*:47-49.
- Millan-Testa C, Mendez-Montevalvo M, Ottenhof MA, Farhat I y Bello-Pérez L. 2005. Determination of the molecular and structural characteristics of okenia, mango, and banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(3):495-501.
- Montagne L, Pluske J y Hampson D. 2003. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology* 108(1-4):95-117.
- Montero-Calderón M, Rojas-Graü MA y Martín-Belloso O. 2010. Mechanical and chemical properties of Gold cultivar pineapple flesh (*Ananas comosus*). *European Food Research and Technology* 230(4):675-686.
- Motomura Y y Yoshida Y. 2002. Antioxidative ability of cell wall components in fruits against ascorbic acid oxidation. p. 669-676.
- Orihuela Meza D. 2011. Propiedades funcionales de la fibra dietética.
- Padayachee A, Netzel G, Netzel M, Day L, Zabarar D, Mikkelsen D y Gidley M. 2012a. Binding of polyphenols to plant cell wall analogues—Part 1: Anthocyanins. *Food Chemistry*.
- Padayachee A, Netzel G, Netzel M, Day L, Zabarar D, Mikkelsen D y Gidley MJ. 2012b. Binding of polyphenols to plant cell wall analogues - Part 2: Phenolic acids. *Food Chemistry* (0).

- Palafox-Carlos H, Ayala Zavala JF y González Aguilar GA. 2011. The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science* 76(1):R6-R15.
- Palafox-Carlos H, Yahia E y González-Aguilar G. 2012. Identification and Quantification of Major Phenolic Compounds from Mango (*Mangifera indica*, cv. Ataulfo) Fruit by HPLC-DAD-MS/MS-ESI and Their Individual Contribution to the Antioxidant Activity during Ripening. *Food Chemistry*.
- Palafox Carlos H, Ayala Zavala JF y González Aguilar GA. 2011. The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science* 76(1):R6-R15.
- Parada J y Aguilera J. 2007. Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science* 72(2):21-32.
- Pech JC, Purgatto E, Bouzayen M y Latché A. 2012. Ethylene and fruit ripening. *Annual Plant Reviews Volume 44*:275-304.
- Pellegrini N, Ke R, Yang M y Rice-Evans C. 1999. Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2, 2'-azinobis (3-ethylenebenzothiazoline-6-sulfonic acid radical cation decolorization assay. *Methods in enzymology* 299:379-389.
- Pérez-Jiménez J, Serrano J, Tabernero M, Arranz S, Díaz-Rubio ME, García-Diz L, Goñi I y Saura-Calixto F. 2009. Bioavailability of phenolic antioxidants associated with dietary fiber: plasma antioxidant capacity after acute and long-term intake in humans. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)* 64(2):102-107.
- Porrini M, Riso P, Cantile M, Schiavo G, Terracciano L, Cillo C, Rubba F, Mattiello A, Chiodini P y Celentano E. 2008. Factors influencing the bioavailability of antioxidants in foods: a critical appraisal. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases (NMCD)* 18(10):647-706.
- Prosky L. 2000. What is dietary fiber? *Journal of AOAC International* 83(4):985-987.
- Ramulu P y Udayasekhara Rao P. 2003. Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis* 16(6):677-685.
- Reppas C, Eleftheriou G, Macheras P, Symillides M y Dressman J. 1998. Effect of elevated viscosity in the upper gastrointestinal tract on drug absorption in dogs. *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 6(2):131-139.
- Richter WO, Jacob BG y Schwandt P. 1991. Interaction between fibre and lovastatin. *Lancet* 338(8768):706.
- Ring SG y Selvendran RR. 1980. Isolation and analysis of cell wall material from beeswing wheat bran (*Triticum aestivum*). *Phytochemistry* 19(8):1723-1730.
- Robles-Sánchez RM, Rojas-Graü MA, Odriozola-Serrano I, González-Aguilar GA y Martín-Belloso O. 2009. Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut [] Kent'mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Biology and Technology* 51(3):384-390.
- Rocha Ribeiro SM, Queiroz JH, Lopes Ribeiro de Queiroz ME, Campos FM y Pinheiro Sant'Ana HM. 2007. Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)* 62(1):13-17.
- Rosas-Domínguez C. 2011. Contenido de compuestos bioactivos y su contribución a la capacidad antioxidante durante la maduración de piña cv. "Esmeralda". *Coordinación de Tecnología de Alimentos de Orígen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.*

- Rosell C, Santos E y Collar C. 2009. Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International* 42(1):176-184.
- Sánchez-Alonso I, Jiménez-Escrig A, Saura-Calixto F y Borderías A. 2007. Effect of grape antioxidant dietary fibre on the prevention of lipid oxidation in minced fish: Evaluation by different methodologies. *Food Chemistry* 101(1):372-378.
- Sañudo-Barajas JA, Labavitch J, Greve C, Osuna-Enciso T, Muy-Rangel D y Siller-Cepeda J. 2009. Cell wall disassembly during papaya softening: Role of ethylene in changes in composition, pectin-derived oligomers (PDOs) production and wall hydrolases. *Postharvest Biology and Technology* 51(2):158-167.
- Saura-Calixto F. 2010a. Dietary Fiber as a Carrier of Dietary Antioxidants: An Essential Physiological Function. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(1):43-49.
- Saura-Calixto F. 2010b. Dietary Fiber as a Carrier of Dietary Antioxidants: An Essential Physiological Function. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Saura-Calixto F, Pérez-Jiménez J, Touriño S, Serrano J, Fuguet E, Torres JL y Goñi I. 2010. Proanthocyanidin metabolites associated with dietary fibre from in vitro colonic fermentation and proanthocyanidin metabolites in human plasma. *Molecular Nutrition & Food Research* 54(7):939-946.
- Saura-Calixto F, Serrano J y Goni I. 2007. Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chemistry* 101(2):492-501.
- Selma MV, Espi n JC y Toma s-Barbera n FA. 2009. Interaction between phenolics and gut microbiota: role in human health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(15):6485-6501.
- Serrano J, Puupponen-Pimiä R, Dauer A, Aura AM y Saura-Calixto F. 2009a. Tannins: current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Molecular nutrition & food research* 53(S2):S310-S329.
- Serrano J, Puupponen Pimiä R, Dauer A, Aura AM y Saura Calixto F. 2009b. Tannins: Current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Molecular Nutrition & Food Research* 53(S2):310-329.
- Seymour GB, Taylor J y Tucker GA. 1993. *Biochemistry of fruit ripening*. Chapman & Hall.
- Shim SM, Ferruzzi MG, Kim YC, Janle EM y Santerre CR. 2009. Impact of phytochemical-rich foods on bioaccessibility of mercury from fish. *Food Chemistry* 112(1):46-50.
- Singleton V y Rossi Jr JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3):144.
- Soobrattee M, Neergheen V, Luximon-Ramma A, Aruoma O y Bahorun T. 2005. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: mechanism and actions. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* 579(1-2):200-213.
- Sudha M, Baskaran V y Leelavathi K. 2007. Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry* 104(2):686-692.
- Sun-Waterhouse D, Melton LD, O'Connor CJ, Kilmartin PA y Smith BG. 2007. Effect of apple cell walls and their extracts on the activity of dietary antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(1):289-295.
- Sun-Waterhouse D, Smith BG, O'Connor CJ y Melton LD. 2008. Effect of raw and cooked onion dietary fibre on the antioxidant activity of ascorbic acid and quercetin. *Food Chemistry* 111(3):580-585.
- Tagliazucchi D, Verzelloni E, Bertolini D y Conte A. 2010. In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry* 120(2):599-606.

- Thaipong K, Boonprakob U, Crosby K, Cisneros-Zevallos L y Hawkins Byrne D. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis* 19(6):669-675.
- U.S. Department of Agriculture ARS. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18. Nutrient Data Laboratory Home Page.
- Vicente AR, Manganaris GA, Sozzi GO y Crisosto CH. 2009. Nutritional quality of fruits and vegetables. *Postharvest Handling: A Systems Approach (Food Science and Technology)*:58-106.
- Vincent H, Bourguignon C y Taylor A. 2010. Relationship of the dietary phytochemical index to weight gain, oxidative stress and inflammation in overweight young adults. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* 23(1):20-29.
- Vitaglione P, Napolitano A y Fogliano V. 2008. Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in Food Science & Technology* 19(9):451-463.
- Yahia EM. 2009. The contribution of fruit and vegetable consumption to human health. *Fruit and Vegetable Phytochemicals*:3-51.
- Yedidia I, Lipsky A, Golan A, Yishay M, Ion A y Luzzatto T. 2008. Polyphenols Induction in the Defense Response of Calla Lily towards *Pectobacterium carotovorum*. p. 407-413.
- Yemm E y Willis A. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal* 57(3):508.
- Zhishen J, Mengcheng T y Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry* 64(4):555-559.