



## DESARROLLO DE UN CONFITE FUNCIONAL ELABORADO A PARTIR DE BAGAZO DE MANGO (*MANGIFERA INDICA L.*) COMO ESTRATEGIA ALIMENTICIA CONTRA LA OBESIDAD Y EL SOBREPESO INFANTIL

## DEVELOPMENT OF A MANGO (*MANGIFERA INDICAL.*)-BAGASSE FUNCTIONAL CONFECTIONERY AS A FOOD STRATEGY TO COMBAT CHILDHOOD OVERWEIGHT AND OBESITY

Marcela Gaytán-Martínez<sup>1\*</sup>, Luz Abril Herrera-Cazares<sup>2</sup>, Aurea Karina Ramírez-Jiménez<sup>3</sup>, Iván Luzardo-Ocampo<sup>3</sup>, Rocio Campos-Vega<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Posgrado en Ingeniería de Calidad y Productividad, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N Col. Las Campanas. Querétaro, México.

<sup>2</sup> Posgrado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n Col. Cerro de las Campanas, C.P. 76010, Santiago de Querétaro, México.

<sup>3</sup> Tecnológico de Monterrey, Campus Toluca, Avenida Eduardo Monroy Cárdenas 2000 San Antonio Buenavista, 50110 Toluca de Lerdo, México.

\* Autor de correspondencia, correo: [marcelagaytanm@yahoo.com.mx](mailto:marcelagaytanm@yahoo.com.mx)

### Resumen

Los productos de confitería son de alto consumo para la población infantil y han contribuido al incremento de morbilidades, tales como la obesidad y el sobrepeso, las cuales han alcanzado una prevalencia de 13.8 % para niños y adolescentes (12-19 años) en el estado de Querétaro. Como alternativa a esta problemática, este trabajo buscó desarrollar un producto de confitería funcional (CBM) usando bagazo de mango, un subproducto rico en compuestos bioactivos. Se evaluó el aporte nutricional, aceptación sensorial y la funcionalidad de sus componentes (liberación o bioaccesibilidad) mediante un modelo de digestión gastrointestinal *in vitro*. Asimismo, se realizó un análisis metabolómico no dirigido de los metabolitos generados a través de la fermentación colónica. Se obtuvo un producto rico en proteínas (10.27%) y fibra dietaria (17.3%), que no presentó diferencias en olor, sabor, textura o acidez con un control comercial. Ácido gálico, mangiferina y quercetina fueron los compuestos fenólicos más bioaccesibles (22.05-232.11 %). Durante la fermentación colónica, CBM generó niveles significativos de ácido butírico y butil butirato, sustancias de conocido efecto prebiótico y con papel atenuante de la obesidad. En conclusión, CBM es una alternativa de confite funcional con aporte de compuestos bioactivos, con potencial para reducir obesidad y sobrepeso en la población infantil. Este proyecto tiene un alcance social, aprovechando un subproducto para generar

un producto de alto valor agregado, con impacto en el sector salud y en el económico, generando productos de alto consumo que coadyuvan a la prevención de la obesidad y el sobrepeso infantil y que reducen el impacto ambiental de la industria del mango.

Palabras clave: *Ácidos grasos de cadena corta, confitería funcional, compuestos fenólicos, bioaccesibilidad, Mango (*Mangifera indica L.*), obesidad infantil.*

### Abstract

*Confectionery products are highly consumed by children population and have contributed to the increase of morbidities such as obesity and overweight. Both have reached a prevalence in Queretaro of 13.8% for children and teenagers (12-19 years old). As an alternative to such a problem, this work aimed to develop a functional confection (CBM) using mango bagasse, a bioactive compounds-rich by-product. It was evaluated CBM's nutritional contribution, sensory acceptance, and the functionality of specific CBM's components (bioaccessibility or release) through an *in vitro* gastrointestinal digestion model. Moreover, an untargeted metabolomics analysis was conducted for the metabolites produced during the colonic fermentation. A protein and dietary fiber-rich product (10.27 and 17.3%, respectively) was obtained. Compared to a commercial*

*product, CBM did not exhibit differences in odor, flavor, texture, or acidity. Gallic acid and mangiferin were the most bioaccessible phenolics (22.05-232.11%). During the colonic fermentation, CBM produced significant levels of butyric acid and butyl-butylate, which are known for their prebiotic and obesity-reduce effects. In conclusion, CBM is an alternative of functional confection that provides bioactive compounds with the potential for the reduction of obesity and overweight in children population. This project has a social reach taking advantage of a by-product to generates a high value-added product that impacts the economic and health sector creating high-consumption products that help in the childhood obesity and overweight prevention, reducing the environmental impact of the mango's industry.*

**Keywords:** Short-chain fatty acids, functional confectionery, phenolic compounds, bioaccessibility, mango (*Mangifera indica*), childhood obesity.

## 1. Introducción

La obesidad y el sobrepeso son enfermedades crónicas de alta prevalencia en América Latina, llegando a alcanzar tasas del 20 % en niños y adolescentes (0-19 años) [Cominato y col., 2018]. En México, se ha estimado una incidencia de obesidad y sobrepeso en niños y adolescentes, para zonas rurales y urbanas, del 37.9% y 29.7% (5-11 años) y 39.7% y 34.6% (12-19 años) [INSP, 2018]. Querétaro se encuentra en una posición intermedia, alcanzando una tasa del 13.8% de niños de 12-19 años, con obesidad [INSP, 2018]. La obesidad y el sobrepeso son problemáticos por su alto costo económico, en el cuidado de la salud y pérdidas en la productividad y calidad de vida [Jelalian & Whitney Evans, 2017]. Los niños con obesidad y sobrepeso presentan mayor propensión a desarrollar enfermedades cardiovasculares y diabetes mellitus en su vida adulta, además se ha visto que tienden a tener baja autoestima, insatisfacción corporal, y mayor estrés psicológico que las personas sanas, por lo que las estrategias orientadas a la prevención de la obesidad y el sobrepeso traen beneficios económicos directos y en la salud [Bleich y col., 2018].

La dieta es uno de los principales factores de riesgo asociados a la obesidad porque el consumo de azúcares y otros carbohidratos alcanza, respectivamente, el 15% y el 50% del consumo dietario, en México y América central, y llegan a representar del 51.9 al 58-2% del consumo energético diario [García-Chávez, Rodríguez-Ramírez, Rivera, Monterrubio-Flores, & Tucker, 2018]. La población de niños de 5-11 es la que tiene el mayor consumo de bebidas endulzadas (85.7%), botanas y dulces (64.6%) y cereales dulces (52.9%), productos de alto aporte de azúcares refinados y bajo aporte de fibra, antioxidantes o vitaminas, necesarios para el desarrollo adecuado de infantes [INSP, 2018]. Por ello, propuestas de opciones funcionales con beneficios saludables podrían impactar significativamente las altas tasas de obesidad y sobrepeso estatales y federales, atenuando las morbilidades asociadas a la obesidad en la población infantil, cuyo costo se estima que llegará a más de 10 mil millones de pesos en 2050 [Gaona-Pineda y col., 2018; NOTIMEX, 2019]. La confitería funcional, o el desarrollo de confites con un fin saludable, podría ser una solución ya que son productos fáciles de adquirir y que permitirían la incorporación de compuestos bioactivos con propiedades saludables [Herrera-Cazares y col., 2017].

Entre los diversos ingredientes alimentarios con beneficios a la salud, se encuentra el bagazo de mango (BM), que es el residuo que queda después del proceso industrial de extracción de la pulpa. Este material es rico en compuestos bioactivos como compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides) y fibra dietética (oligosacáridos y pectinas), entre otros, que han demostrado tener efectos positivos en la atenuación de obesidad, mediante la mejora de la actividad gastrointestinal y microbiota colónica por su efecto prebiótico, y aportar compuestos con comprobado efecto antiobesogénico [Wall Medrano y col., 2020]. Se ha demostrado que una dieta alta en fibra y compuestos fenólicos ayuda a modular positivamente la microbiota intestinal [Campos-Vega, Oomah, & Vergara-Castañeda, 2017]. Un consumo adecuado de estos compuestos induce la producción de una amplia variedad de metabolitos, como son los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y sus derivados, principalmente

ésteres de ácido acético, butírico y propiónico (Menni y col., 2017), con conocidos efectos contra la obesidad infantil. Dado que México se encuentra entre los cinco principales productores mundiales de mango (FAO, 2018), es de esperarse que la cantidad de residuos sea equiparable. La agroindustria del mango genera altos volúmenes de subproductos (35-60%); se estima que México generó entre 762 mil y 1.3 millones de toneladas de subproductos en 2018, los cuales representan una amenaza ecológica por su potencial contaminante y una pérdida valiosa de producto rico en compuestos con beneficios a la salud (Wall Medrano y col., 2020). El bagazo de mango o el residuo obtenido luego de la extracción de pulpa, contiene compuestos bioactivos como compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides) y fibra dietaria (oligosacáridos y pectinas), entre otros, que podrían ejercer un efecto positivo en la saciedad, mejora de la actividad gastrointestinal y microbiota colónica por su efecto prebiótico, y aportar compuestos con comprobado efecto antioxidante y modulador del metabolismo de lípidos y carbohidratos (Wall Medrano y col., 2020).

A fin de garantizar la efectividad y funcionalidad del confite funcional, es indispensable garantizar que los compuestos bioactivos sean bioaccesibles, es decir, que puedan liberarse de la matriz alimenticia, dado que muchos de los beneficios de los compuestos bioactivos dependen del modo como se metabolizan a lo largo del tracto gastrointestinal (Rein y col., 2013). Para ello, los modelos de digestión *in vitro* permiten estudiar estos cambios y el perfil de fermentación colónico. Especial énfasis se ha puesto en el estudio de metabolitos de fermentación específicos como los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), los cuales se han relacionado con una microbiota saludable y con la prevención de la obesidad infantil (Estrada-Velasco y col., 2015; McCann, Rawls, Seed, & Armstrong, 2017). Por todo lo anterior, el objetivo de este proyecto fue diseñar un confite funcional elaborado a partir de bagazo de mango como alternativa para combatir obesidad y sobrepeso infantil, además de evaluar la bioaccesibilidad y perfil de metabolitos de fermentación que pudieran estar asociados a un efecto antiobesogénico. El aprovechamiento de un subproducto para generar un producto de alto valor agregado, como

lo es la confitería funcional, tiene un doble beneficio social: ofrecer un producto de alto consumo como coadyuvante para la prevención de obesidad infantil y reducir el impacto ambiental de la industria del mango. Lo anterior, está alineado con los objetivos de desarrollo sostenible de la Organización Mundial de la Salud, especialmente en referencia a la salud, bienestar y comunidades sostenibles.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Obtención del bagazo de mango y elaboración del confite extrudido

Mangos maduros obtenidos en la central de abastos de Santiago de Querétaro (Qro., México). El bagazo de mango (BM) y el confite extrudido adicionado con bagazo de mango (CBM) fueron elaborados según lo reportado por Herrera-Cazares y col. (2017). El polvo seco de BM fue reducido en tamaño de partícula (250  $\mu$ m) y se mezcló con edulcorante, almidón (0.1 %), grenetina (11.5 %) y pectina (1.14 %) hasta obtener una pasta que se hidrató con glicerol. La pasta fue extruida (72 °C) a una velocidad de tornillo de 15 rpm. Se utilizó un extrusor de tornillo simple de una pulgada de diámetro, con una relación de tornillo de L/D=19 y un dado de 6 mm de diámetro. Se obtuvieron tiras de 15 cm, las cuales se secaron a 30 °C por 12 h y se espolvorearon con chile en polvo.

### 2.2. Análisis proximal

Se determinó humedad (método 325.23), proteínas (método 920.15), lípidos (método 920.39), cenizas (método 942.05), fibra dietaria soluble (método 991.42), fibra dietaria insoluble (método 9931.19) y almidón resistente (método 2002.02) por las técnicas de la (AOAC, 2002). La fibra dietaria total se calculó como la suma de la fibra dietaria soluble e insoluble, los carbohidratos por diferencia y los azúcares simples de acuerdo con lo reportado por DuBois, Gilles, Hamilton, Rebers, & Smith (1956).

### 2.3. Evaluación sensorial

Se realizó una prueba de aceptación sensorial al CBM y un confite comercial de los más consumidos por los niños. Las muestras de CBM cumplían con la inocuidad sanitaria, de acuerdo a la normatividad. La prueba se realizó con

100 jueces consumidores, no entrenados, de edades entre 8-14 años, se usó una escala de 7 puntos, donde 1 = no me gusta y 7 = me gusta mucho. Se evaluó el sabor, olor, textura, color y aceptación general. Los resultados se compararon por una prueba de análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0.05$ ).

#### 2.4. Digestión gastrointestinal *in vitro*

Se simuló una digestión gastrointestinal *in vitro* según lo reportado por Campos-Vega y col. (2015). Se simularon las etapas de boca, estómago e intestino delgado. Para esta última, se utilizaron intestinos invertidos de ratas macho Wistar (250-300 g), obtenidas en el Instituto de Neurobiología (UNAM-Campus Juriquilla, Querétaro, México). Para la etapa colónica, se siguió la metodología propuesta por Campos-Vega y col. (2009) utilizando inóculo fecal de origen humano y condiciones anaeróbicas. Las muestras se incubaron por 6, 12 y 24 h y durante cada tiempo se tomaron alícuotas y se determinó el pH. El protocolo experimental fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad Autónoma de Querétaro (CBQ 16/1116-5). Los participantes firmaron un consentimiento informado para su inclusión en el estudio de acuerdo con la declaración de Helsinki, el Consejo de las Organizaciones Internacionales de Ciencias Médicas (CIOMS) y las Leyes Regionales de la Secretaría de Salud de México. Los procedimientos con animales se llevaron a cabo de acuerdo con la Guía del Instituto Nacional de Salud Pública para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio.

#### 2.5. Extracción y cuantificación de compuestos fenólicos libres

Se extrajeron los compuestos fenólicos libres de las materias primas (BM y CBM) según lo reportado por Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Oomah (2002). En estos extractos y en muestras de las etapas de la digestión *in vitro* fueron cuantificados fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, flavonoides totales (Feregrino-Pérez y col., 2008) y taninos condensados (Oomah, Cardador-Martínez, & Loarca-Piña, 2005). Para la cuantificación de ácido gálico, mangiferina y quercetina se utilizó un sistema de cromatografía líquida de alto desempeño acoplado a un detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD) usando la metodología de Ramírez-Jiménez, Reynoso-Camacho, Mendoza-Díaz, & Loarca-Piña (2014).

#### 2.6. Cuantificación de ácidos grasos de cadena corta e identificación de otros metabolitos volátiles orgánicos

Para las muestras obtenidas en la etapa colónica, la extracción de los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) se realizó mediante una micro extracción en fase sólida y su cuantificación mediante cromatografía de gases acoplado a masas (HS-SPME/GC-MS, por sus siglas en inglés) de acuerdo a lo descrito por Zamora-Gasga y col. (2015), usando la base de datos del programa MSD ChemStation.

#### 2.7. Análisis metabolómico no dirigido

El perfil global de metabolitos obtenidos en la etapa colónica se sometió a un análisis metabolómico no dirigido, donde los datos fueron normalizados y analizados mediante el programa MetaboAnalyst 3.0 de acuerdo con lo reportado por Gertsman & Barshop (2018). La identificación de los metabolitos se llevó a cabo utilizando la base de datos HMDB (<http://www.hmdb.ca/>) y los puntajes de importancia variable en proyección (VIP) fueron utilizados para clasificar a cada uno por su grado de discriminación.

#### 2.8. Análisis estadístico

Los datos fueron expresados como la media  $\pm$  error estándar (EE) de al menos dos experimentos independientes, por triplicado. Excepto para el análisis sensorial, los datos fueron analizados con un análisis de varianza (ANOVA) y prueba post hoc de Tukey-Kramer donde se consideró diferencia estadística cuando  $p < 0.05$ .

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Caracterización proximal de bagazo de mango (BM) y confite adicionado con bagazo de mango (CBM)

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la composición proximal de BM y CBM. El alto contenido proteico de CBM, superior a BM ( $p < 0.05$ ) es debido a la adición de gretina, una fuente de proteína que funciona como vehículo de compuestos bioactivos de bajo costo con alta aceptación infantil (Herrera-Cazares y col., 2017). No hubo diferencias ( $p < 0.05$ ) en la relación de fibra soluble e insoluble entre BM y CBM, mientras que es destacable la presencia de almidón resistente de CBM, el cual tiene

efectos positivos en incrementar el nivel de saciedad gracias a la producción de AGCC en el colon, estimulando la secreción del péptido similar a glucagón (GLP-1) [Al-Mana & Robertson, 2018]

**Tabla 1.** Análisis proximal de bagazo de mango y confite adicionado de bagazo de mango

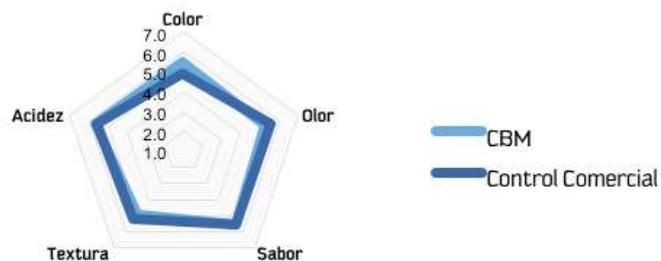
Contenido [%]	BM	CBM
Humedad	60.52 ± 1.16a	15.36 ± 3.17b
Proteína	2.48 ± 1.46b	10.27 ± 1.24a
Grasa	3.04 ± 0.43a	1.11 ± 0.22b
Cenizas	6.94 ± 0.30b	3.80 ± 0.17a
Carbohidratos	87.50a	84.80a
Fibra dietaria	83.9 ± 4.1a	17.3 ± 2.6b
Fibra insoluble	49.21 ± 3.4a	11.27 ± 1.39b
Fibra soluble	34.65 ± 0.8a	6.01 ± 2.1b
Almidón resistente	ND	2.50 ± 0.13
Azúcares simples	5.81 ± 0.2b	12.02 ± 0.6a

Cada valor representa el promedio ± EE. **BM:** Bagazo de mango; **CBM:** Confite adicionado de bagazo de mango; **ND:** No detectado. Letras diferentes por fila representan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las muestras por la prueba de Tukey-Kramer.

### 3.2. Evaluación sensorial de confite adicionado con bagazo de mango

El análisis sensorial es un importante instrumento de validación en la industria de alimentos, ya que proporciona información respecto a la aceptación de un producto por los consumidores [Alcantara & Freitas-Sá, 2018]. La Figura 1, muestra los resultados de aceptación sensorial del CBM obtenidos, comparado con un confite comercial de una de las marcas más consumidas por los niños. El único atributo que presentó diferencias ( $p < 0.05$ ) fue el color, lo que podría explicarse por la adición de colorantes artificiales en la muestra comercial.

Se ha sugerido que el color y el aroma son los parámetros más importantes en la aceptación de mango y productos derivados del mismo [Ledesma, Nieto, & Pacheco, 2019]. La igualdad de aceptación sensorial de CBM frente a un control comercial indica su potencial como vehículo de fibra para la población infantil, puesto que a menudo los productos adicionados con fibra son negativamente calificados debido a su textura fibrosa [Ledesma, Nieto, & Pacheco, 2019].



**Figura 1.** Perfil de evaluación sensorial del confite adicionado con bagazo de mango (CBM).

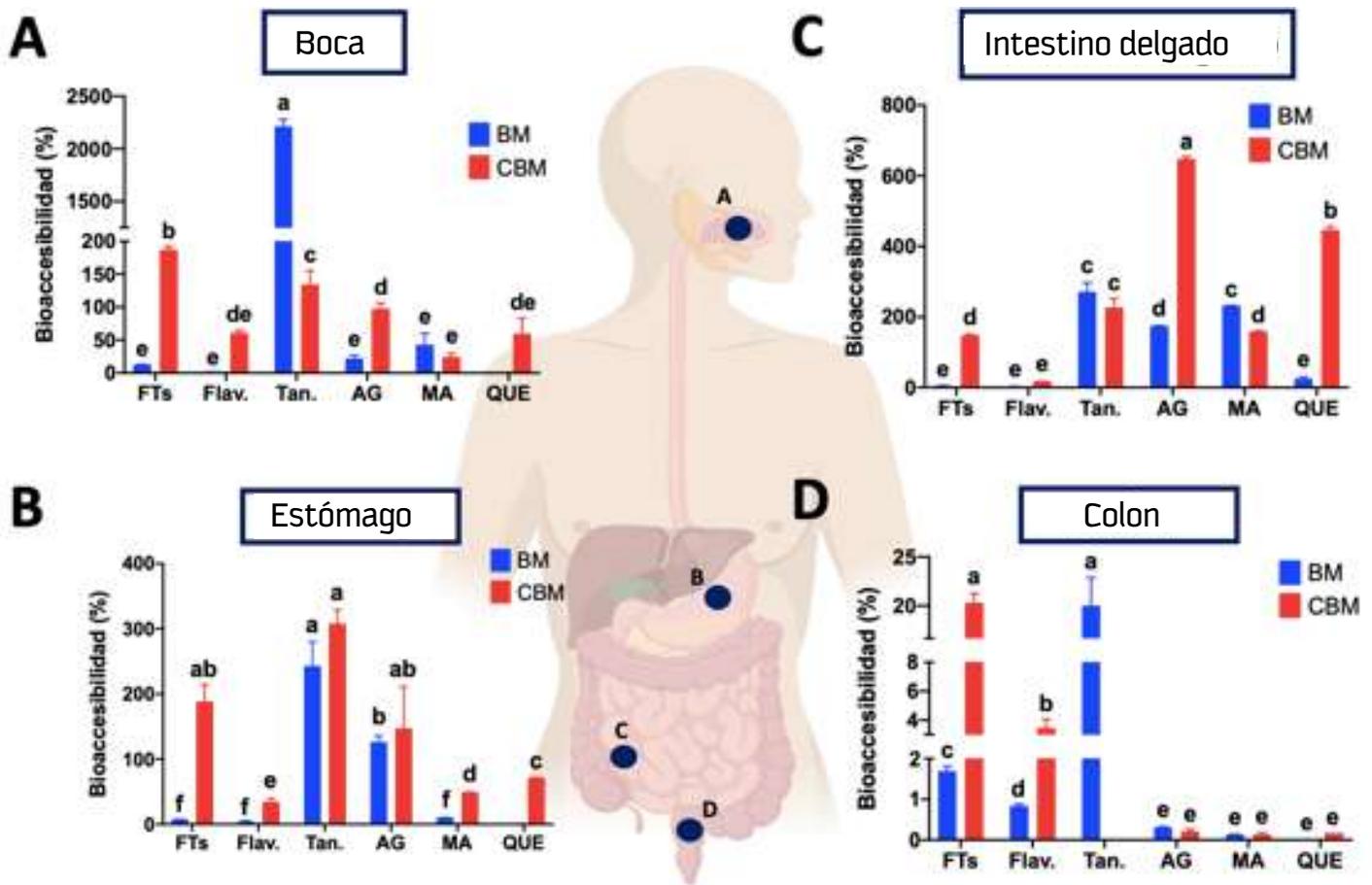
### 3.3. Bioaccesibilidad de compuestos fenólicos

La liberación de compuestos bioactivos de la matriz alimentaria, o bioaccesibilidad, es una medida importante para determinar la absorción potencial de estos compuestos (biodisponibilidad), permitiendo dar estimaciones más precisas de mecanismos de acción e incidencias en la salud reales de los mismos de acuerdo a su comportamiento gastrointestinal [Domínguez-Avila y col., 2017]. Por lo tanto, medir la bioaccesibilidad de compuestos bioactivos selectos permite dar una aproximación más real al contexto de lo que ocurriría en un sistema de digestión humano.

La Figura 2 muestra la bioaccesibilidad [%] de compuestos fenólicos en boca (Figura 2A), estómago (Figura 2B), intestino delgado a los 120 minutos (Figura 2C) y colon a las 24 horas (Figura 2D) de BM y CBM. Mientras que los taninos condensados (TAN) fueron los compuestos de mayor bioaccesibilidad en boca, estómago y colon, el ácido gálico (GAL) fue el compuesto más bioaccesible en la etapa intestinal. En la etapa de boca (Figura 2A), CBM presentó mayor bioaccesibilidad de fenoles totales (FT), flavonoides (Flav.), ácido gálico (AG) y quercetina (QUE) (1331%, 3286%, 342.65% y 59.45%, respectivamente), indicando que el dulce no sólo protege compuestos fenólicos de BM, sino que estimula su liberación. En este sentido, se ha reportado que la pectina, uno de los ingredientes del dulce, forma encapsulados hidrofóbicos que protegen a los compuestos fenólicos [Mohammadi, Jafari, Assadpour, & Faridi Esfanjani, 2016]. La reducción de la bioaccesibilidad de taninos (Tan.) ( $p < 0.05$ ) es un factor destacable teniendo en cuenta que estos compuestos contribuyen a dar sabores astringentes y reducen la bioaccesibilidad y potencial biodisponibilidad de compuestos fenólicos y proteínas al formar interacciones no covalentes con

los mismos [Wu y col., 2012]. Durante la etapa gástrica (Figura 2B), CBM presentó mayor bioaccesibilidad ( $p < 0.05$ ) de FTs, Flav., mangiferina (MA) y QUE, sin presentar diferencias en el contenido de Tan. MA es un xantonioide y constituye el compuesto fenólico más importante del mango [Amaya-Cruz y col., 2015], siendo este uno de los primeros reportes de este compuesto en bagazo de mango y productos elaborados con el mismo. Luego de la boca, la etapa intestinal fue la que presentó la mayor liberación de compuestos bioactivos (Figura 2C), siendo CBM el que demostró tener los niveles más altos de bioaccesibilidad de AG y QUE, indicando que

esta matriz es exitosa en preservar estos compuestos hasta la zona intestinal, la sección del tracto de mayor probabilidad de absorción de compuestos bioactivos. Los bajos niveles de bioaccesibilidad durante la etapa colónica (Figura 2D) son un indicador de la actividad de la microbiota colónica sobre los compuestos fenólicos originales, los cuales son fermentados hacia otros metabolitos como los ácidos grasos de cadena corta y derivados de compuestos fenólicos, entre otros, con conocido efecto antioxidante, antiinflamatorio, y modulador del metabolismo de lípidos y carbohidratos [Campos-Vega y col., 2017].



**Figura 2.** Bioaccesibilidad de compuestos fenólicos durante las etapas de **(A)** boca; **(B)** estómago; **(C)** intestino delgado (120 min), y **(D)** colon. **FTs:** Fenoles totales; **Flav:** Flavonoides totales; **Tan:** Taninos totales; **AG:** Ácido gálico; **MA:** Mangiferina; **QUE:** Quercetina. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) por la prueba de Tukey-Kramer.

### 3.4. Análisis metabólico no dirigido de compuestos bioactivos producidos durante la fermentación colónica

El colon, es el lugar de residencia de la microbiota intestinal, cuya composición y diversidad se ha relacionado con la presencia de enfermedades

crónicas. Una dieta alta en carbohidratos no digeribles como la fibra, almidón resistente y los compuestos fenólicos ayuda a modular positivamente la microbiota [Campos-Vega y col., 2017]. Un consumo adecuado de estos compuestos induce la producción de una amplia

variedad de metabolitos, como los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y sus derivados, principalmente ésteres de ácido acético, butírico y propiónico (Menni y col., 2017). Después de la fermentación de la fracción no digerible del BM y del CBM, se encontró un total de 76 metabolitos en el blanco de fermentación (saliva), 131 para el BM y 73 para el CBM. El análisis de componentes principales (PCA), mostró que cuatro componentes explican la variación total del sistema.

En la Figura 3, se muestra que el tipo de compuestos y el tipo de muestra (BM o CBM) influyen en el componente principal 1 (PC1, 57.6% y 61.9 % de la variación, respectivamente), el tiempo de fermentación en el PC2 (69.9%), la abundancia de los metabolitos en el PC3 (79%) y el grupo funcional de los metabolitos en el PC4 (79.2%). Los compuestos de mayor abundancia

se agruparon en el eje positivo para PC1 vs PC2 y en el eje negativo para PC2 vs PC3. Estos grupos comprendieron principalmente ácidos alifáticos y compuestos aromáticos, y algunos ácidos grasos de cadena media y larga. Curiosamente, en la gráfica de dispersión para PC1 vs PC2 (Figura 3) se observó un patrón similar de producción de metabolitos, el cual fue dependiente del tiempo de fermentación para los dos sustratos. Por ejemplo, el mismo perfil de metabolitos que el BM presentó a las 6 h de fermentación, se observó también para el CBM, pero en tiempos posteriores de fermentación. Lo anterior, sugiere que la matriz del confite (grenetina y pectina) puede estar ejerciendo un efecto protector y de lenta liberación de los precursores de metabolitos de fermentación (Thakur, Rousseau, & Rafanan, 2013).

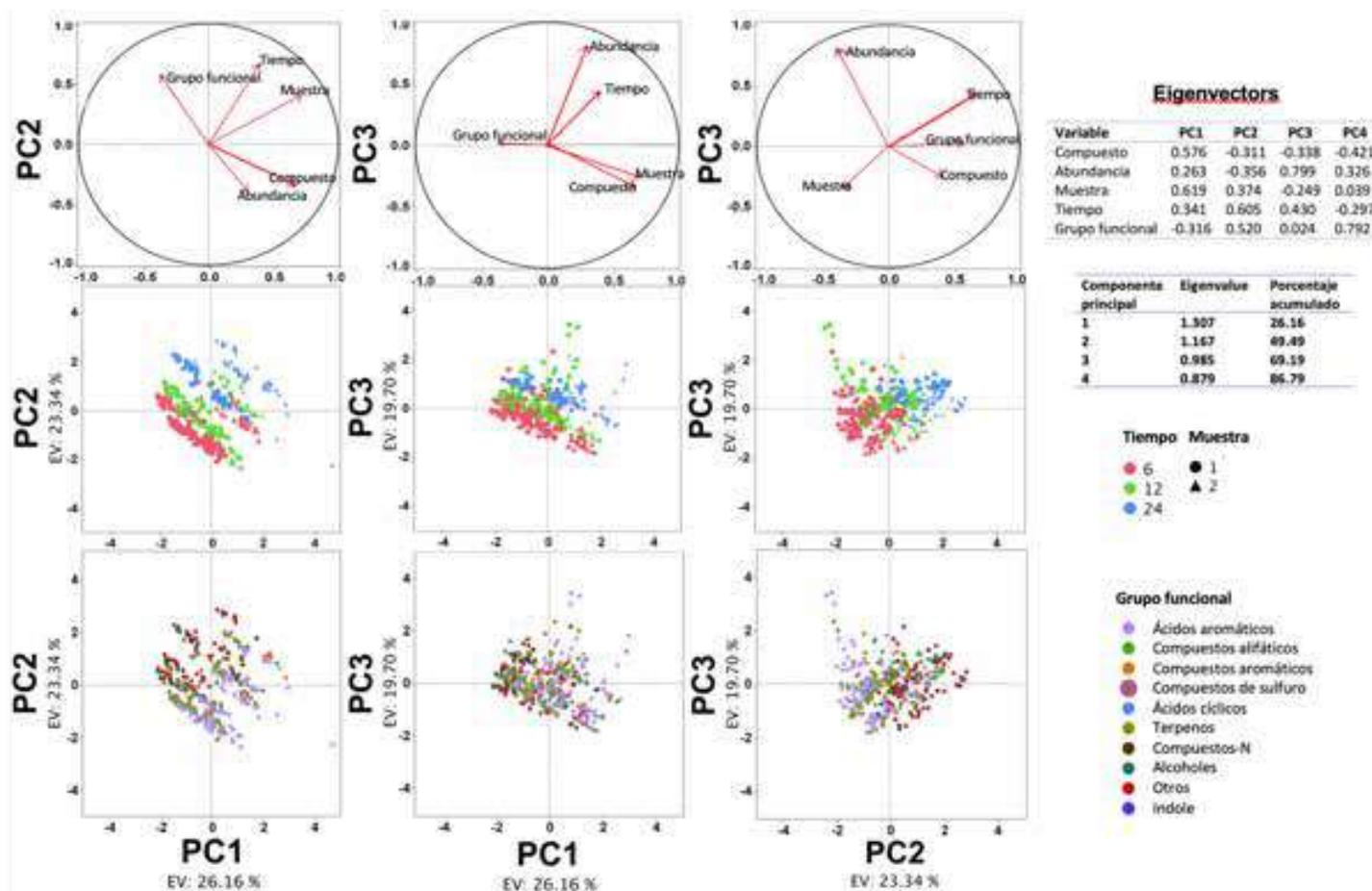
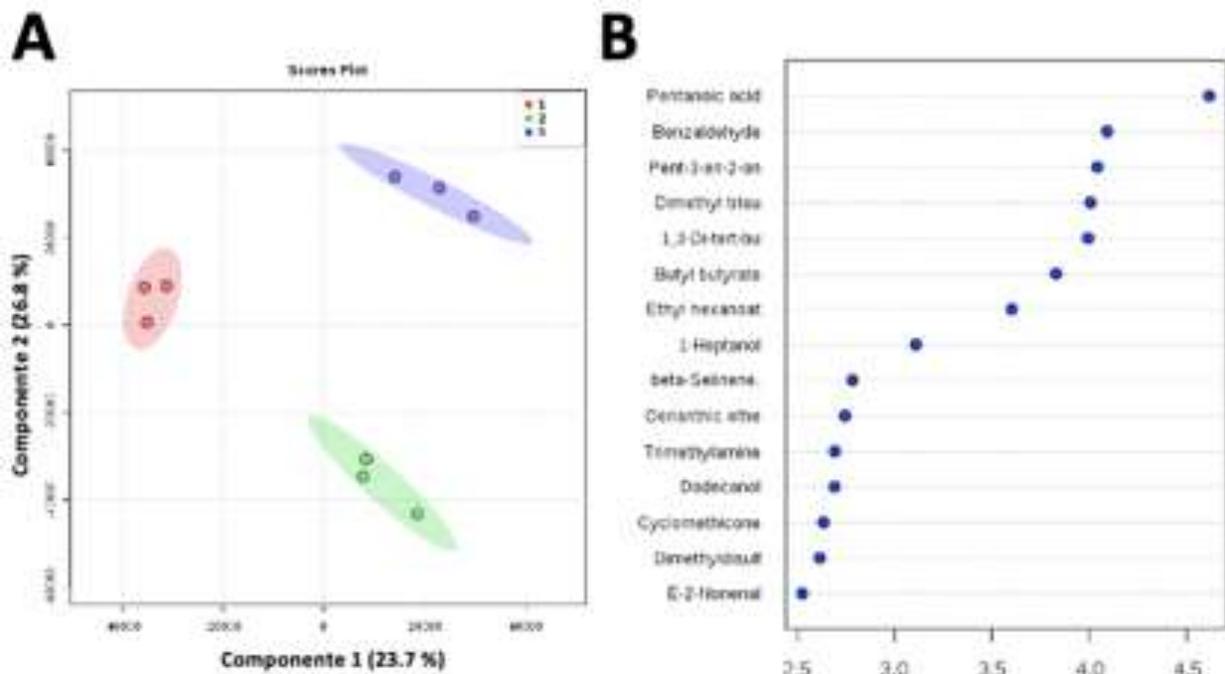
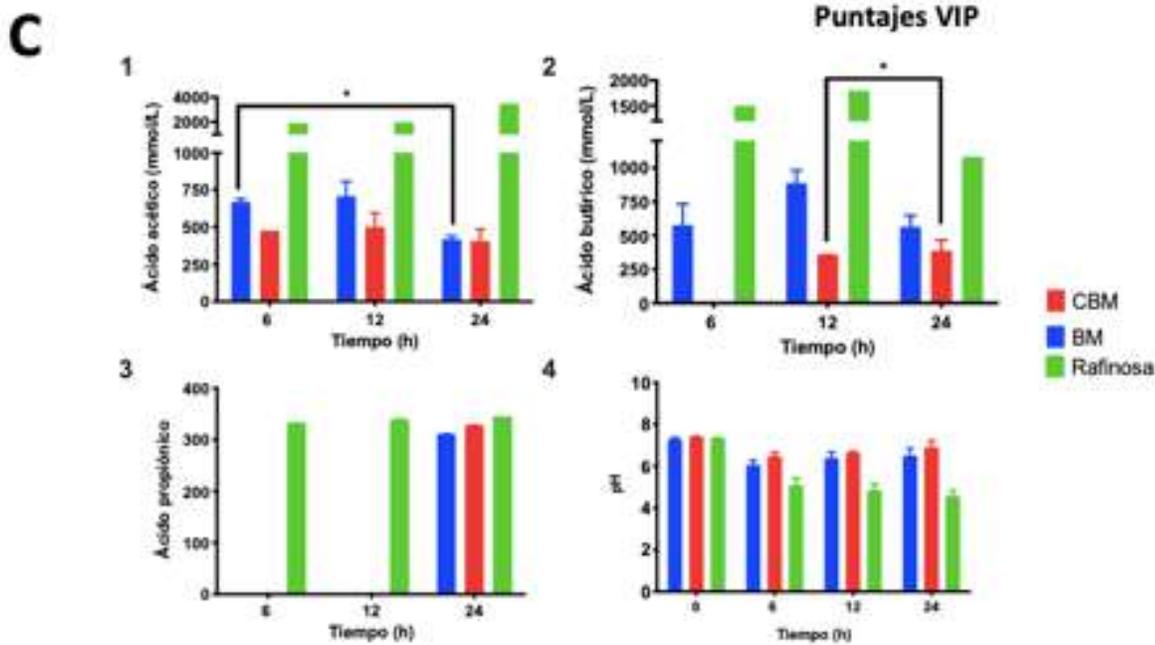


Figura 3. Bioaccesibilidad de compuestos fenólicos durante las etapas de (A) boca; (B) estómago; (C) intestino delgado (120 min), y (D) colon. **FTs**: Fenoles totales; **Flav**: Flavonoides totales; **Tan**: Taninos totales; **AG**: Ácido gálico; **MA**: Mangiferina; **QUE**: Quercetina. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) por la prueba de Tukey-Kramer.

Un análisis post-hoc consistente en un PLS-DA, permitió observar la clara separación del perfil de metabolitos que se produjo durante la fermentación de cada sustrato (blanco, BM o CBM) (Figura 4A), el cual fue muy diferente para cada uno de ellos. De igual manera, el análisis VIP permitió identificar aquellos metabolitos principales producidos para cada sustrato (Figura 4B). Se observó que el sustrato tuvo un efecto marcado en el perfil de metabolitos, lo cual se comprobó al contrastar el perfil de fermentación del BM y BMC con el blanco. El butil butirato, un derivado del ácido butírico, fue uno de los compuestos con mayor contribución durante la fermentación del BM, lo cual coincide con la cantidad significativa de ácido butírico que se produjo a las 12 h de fermentación (Figura 4B). Esta concentración es incluso equiparable a la producción de ácido acético (Figura 4A), el cual se ha considerado el producto principal de la actividad bacteriana en el colon (Ríos-Covián y col., 2016). La alta tasa de producción de ácido butírico, puede ser consecuencia de la estimulación de bacterias productoras de butirato, efecto que ya se ha reportado en otros sustratos como los fructanos (Scott, Martin, Duncan, & Flint, 2014), aunque los compuestos fenólicos también tienen una contribución considerable. El ácido butírico tiene un papel importante en la prevención y atenuación de la obesidad (O' Mahony, Stilling, Dinan, & Cryan, 2015; Stilling y col., 2016). En el caso de mango,

existen estudios que avalan su potencial como prebiótico al regular la microbiota intestinal y producir AGCC (Sáyago-Ayerdi, Zamora-Gasga, & Venema, 2017). Por otra parte, para el CBM, los productos predominantes de fermentación fueron ésteres de ácidos grasos de cadena media y derivados de proteínas (Figura 4B). Para este sustrato, también se observó una cantidad significativa de AGCC, predominantemente ácido acético y butírico, lo que concuerda con el perfil de fermentación de prebióticos reconocidos como la rafinosa, que se utilizó como control de fermentación en el presente estudio (Figura 4A y 4B). Estos resultados, demuestran que la inclusión del BM en un producto de confitería tiene beneficios al conservar el perfil de metabolitos de fermentación de la fibra de mango por sí sola, aportando funcionalidad al CBM. Existen estudios que demuestran que el sustrato es el que determina el tipo de metabolitos que se produce en el colon (Vitali y col., 2012). En el caso del mango, la fibra y los compuestos fenólicos los sustratos que favorecen la producción de AGCC y regulan la microbiota (Kim y col., 2018). Para ambos sustratos, la producción de ácido propiónico fue mínima, y se observó a partir de las 24 h de fermentación (Figura 4C, 1). Una característica importante del metabolismo de la microbiota es la disminución en el pH, lo cual es consecuencia de una activa producción de AGCC como se comprueba en la Figura 4C, 2.





**Figura 4. (A)** Análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) para los tiempos de fermentación del bagazo (verde), el confite (azul) y un blanco de fermentación (rojo). **(B)** Importancia de la variable para la proyección (VIP) en la producción de metabolitos de fermentación; **(C)** Producción de ácidos grasos de cadena corta [AGCC: 1: Ácido acético; 2: Ácido butírico; 3: ácido propiónico] y cambios de pH **(4)**. Para las gráficas A y B, los números 1: Blanco; 2: BM y 3: CBM. Para los AGCC, las barras representan la media de cada medición y el asterisco indica diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el tiempo de fermentación para la misma muestra por la prueba de Tukey-Kramer  $p < 0.05$ .

## 4. Conclusión

Dado que la obesidad infantil es una afección preocupante en nuestro país, la ingesta de fibra e ingredientes con potencial prebiótico, son factores clave en la prevención y atenuación de esta enfermedad. Los resultados de este trabajo sugieren que el CBM es un producto sensorialmente aceptable, rico en proteínas y que permite la inclusión de fibra dietaria de BM, un producto subutilizado a nivel industrial. Asimismo, contiene compuestos fenólicos, principalmente ácido gálico, mangiferina y quercetina, altamente bioaccesibles durante el tracto gastrointestinal, y con capacidad de ser fermentados en el colon por la microbiota colónica para la generación de AGCC y diversos metabolitos volátiles de interés biológico, con potencial probiótico y reductor de los efectos nocivos de la obesidad y el sobrepeso. Estos hallazgos permiten validar las propiedades saludables para la inclusión del CBM como un producto de confitería funcional para la población infantil, protector de compuestos bioactivos y fuente de fibra, con capacidad para sustituir otros productos altos en grasas y azúcares, calificándolo como una alternativa adecuada para la reducción de los índices de obesidad y sobrepeso en los niños del estado de Querétaro.

## Resumen curricular

*Dra. Marcela Gaytán Martínez*

Posgrado en Ingeniería de Calidad y Productividad Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N Col. Las Campanas. Querétaro, México. Profesor investigador de la Universidad Autónoma de Querétaro. Pertenece al SNI nivel 1 y tiene el reconocimiento PRODEP. Su línea de investigación versa el desarrollo de nuevos productos y/o ingredientes de la industria de alimentos usando tecnologías tradicionales y emergentes, así como su evaluación sensorial, nutrimental y vida de anaquel.

*M.C. Luz Abril Herrera Cazares*

Posgrado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Research and Graduate Studies in Food Science, School of Chemistry, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n Col. Cerro de las Campanas, C.P. 76010, Santiago de Querétaro, México. Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos, graduada de la Universidad Autónoma de Querétaro. Actualmente trabaja como manager of protects en ReguLab FDA U.S. agent and consultant Projects

**Dra. Aurea Karina Ramírez Jiménez**

Tecnológico de Monterrey, Campus Toluca, Avenida Eduardo Monroy Cárdenas  
2000 San Antonio Buenavista, 50110 Toluca de Lerdo, México.

SNI nivel 1. Su línea de investigación está orientada al desarrollo y evaluación de las propiedades nutraceuticas y nutricionales de los alimentos funcionales con un enfoque nutrigenómico.

**M.C. Iván Luzardo Ocampo**

Posgrado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Research and Graduate Studies in Food Science, School of Chemistry, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n Col. Cerro de las Campanas, C.P. 76010, Santiago de Querétaro, México.

Su línea de investigación versa sobre el efecto de componentes alimentarios en modelos de enfermedad *in vitro* e *in vivo*.

**Dra. Rocio Campos Vega**

Posgrado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Research and Graduate Studies in Food Science, School of Chemistry, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n Col. Cerro de las Campanas, C.P. 76010, Santiago de Querétaro, México.

Profesor investigador de la Universidad Autónoma de Querétaro. Pertenece al SNI nivel 2 y cuenta con el reconocimiento PRODEP. Su línea de investigación versa sobre Nutrición, dieta y salud- mecanismos bioquímicos y moleculares.

## Referencias bibliográficas

Al-Mana, N., & Robertson, M. (2018). Acute Effect of Resistant Starch on Food Intake, Appetite and Satiety in Overweight/Obese Males. *Nutrients*, 10(12), 1993. <https://doi.org/10.3390/nu10121993>

Alcantara, M. de, & Freitas-Sá, D. D. G. C. (2018). Metodologias sensoriais descritivas mais rápidas e versáteis - uma atualidade na ciência sensorial. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.17916>

Amaya-Cruz, D. M., Rodríguez-González, S., Pérez-Ramírez, I. F., Loarca-Piña, G., Amaya-Llano, S., Gallegos-Corona, M. A., & Reynoso-Camacho, R.

(2015). Juice by-products as a source of dietary fibre and antioxidants and their effect on hepatic steatosis. *Journal of Functional Foods*, 17, 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.051>

AOAC. (2002). *Official methods of analysis of AOAC International* (Seventeen; W. Horwitz & G. W. Latimer, Eds.). Gaithersburg: AOAC International.

Bleich, S. N., Vercammen, K. A., Zatz, L. Y., Frelief, J. M., Ebbeling, C. B., & Peeters, A. (2018). Interventions to prevent global childhood overweight and obesity: a systematic review. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 6(4), 332-346. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(17\)30358-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30358-3)

Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho, R., Pedraza-Aboytes, G., Acosta-Gallegos, J. A., Guzman-Maldonado, S. H., Paredes-Lopez, O., ... Loarca-Piña, G. (2009). Chemical composition and *in vitro* polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus Vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 74(7). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01292.x>

Campos-Vega, R., Vázquez-Sánchez, K., López-Barrera, D., Loarca-Piña, G., Mendoza-Díaz, S., & Oomah, B. D. (2015). Simulated gastrointestinal digestion and *in vitro* colonic fermentation of spent coffee (*Coffea arabica* L.): bioaccessibility and intestinal permeability. *Food Research International*, 77(2), 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.024>

Campos-Vega, Rocio, Oomah, B. D., & Vergara-Castañeda H. A. (2017). In vivo and in vitro studies on dietary fiber and gut health. In F. Hosseinian, B. D. Oomah, & R. Campos-Vega (Eds.), *Dietary fibre functionality in food and nutraceuticals* (First, pp. 123-177). <https://doi.org/10.1002/9781119138105.ch6>

Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2002). Antioxidant Activity in Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(24), 6975-6980.

Cominato, L., Di Biagio, G. F., Lellis, D., Franco, R. R., Mancini, M. C., & de Melo, M. E. (2018). Obesity Prevention: Strategies and Challenges in Latin America. *Current Obesity Reports*, 7(2), 97-104. <https://doi.org/10.1007/s13679-018-0311-1>

Domínguez-Avila, J. A., Wall-Medrano, A., Velderrain-Rodríguez, G. R., Chen, C.-Y. O., Salazar-López, N.

- J., Robles-Sánchez, M., & González-Aguilar, G. A. (2017). Gastrointestinal interactions, absorption, splanchnic metabolism and pharmacokinetics of orally ingested phenolic compounds. *Food Funct.*, 8(1), 15–38. <https://doi.org/10.1039/C6FO01475E>
- DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350–356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Estrada-Velasco, B. I., Cruz, M., García-Mena, J., Salgado, A. V., Romero, J. P., Guna Serrano, M. D. L. R., ... Burguete-García, A. I. (2015). La obesidad infantil como consecuencia de la interacción entre firmicutes y el consumo de alimentos con alto contenido energético. *Nutricion Hospitalaria*, 31(3), 1074–1081. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.3.8302>
- FAO. (2018). Crops. Retrieved September 24, 2018, from FAOSTAT website: <http://www.fao.org/faostat/es/>
- Feregrino-Pérez, A. A., Berumen, L. C., García-Alcocer, G., Guevara-Gonzalez, R. G., Ramos-Gomez, M., Reynoso-Camacho, R., ... Loarca-Piña, G. (2008). Composition and chemopreventive effect of polysaccharides from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) on azoxymethane-induced colon cancer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), 8737–8744. <https://doi.org/10.1021/jf8007162>
- Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Arango-Angarita, A., Valenzuela-Bravo, D., Gómez-Acosta, L. M., Shamah-Levy, T., & Rodríguez-Ramírez, S. (2018). Consumo de grupos de alimentos y factores sociodemográficos en población mexicana. *Salud Pública de México*, 60(3, may-jun), 272. <https://doi.org/10.21149/8803>
- García-Chávez, C. G., Rodríguez-Ramírez, S., Rivera, J. A., Monterrubio-Flores, E., & Tucker, K. L. (2018). Sociodemographic factors are associated with dietary patterns in Mexican schoolchildren. *Public Health Nutrition*, 21(4), 702–710. <https://doi.org/10.1017/S1368980017003299>
- Gertsman, I., & Barshop, B. A. (2018). Promises and pitfalls of untargeted metabolomics. *Journal of Inherited Metabolic Disease*, 41(3), 355–366. <https://doi.org/10.1007/s10545-017-0130-7>
- Herrera-Cazares, L. A., Hernández-Navarro, F., Ramírez-Jiménez, A. K., Reyes-Vega, M. de la L., Loarca-Piña, G., Morales-Sánchez, E., ... Gaytán-Martínez, M. (2017). Mango-bagasse functional-confectionery: vehicle for enhancing bioaccessibility and permeability of phenolic compounds. *Food & Function*, 8(11), 3906–3916. <https://doi.org/10.1039/CF7FO00873B>
- INSP. (2018). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. Retrieved March 5, 2020, from Presentación de Resultados ENSANUT 2018 website: [https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut\\_2018\\_presentacion\\_resultados.pdf](https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_presentacion_resultados.pdf)
- Jelalian, E., & Whitney Evans, E. (2017). Behavioral intervention in the treatment of obesity in children and adolescents: Implications for Mexico. *Nutrition Reviews*, 75, 79–84. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw035>
- Kim, H., Krenek, K. A., Fang, C., Minamoto, Y., Markel, M. E. Suchodolski, J. S., ... Mertens-Talcott, S. U. (2018). Polyphenolic derivatives from mango (*Mangifera Indica* L.) modulate fecal microbiome, short-chain fatty acids production and the HDAC1/AMPK/LC3 axis in rats with DSS-induced colitis. *Journal of Functional Foods*, 48, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.07.011>
- Ledesma, N., Nieto, L. A., & Pacheco, L. (2019). Sensory evaluation of 15 mango cultivars in south Florida. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 132.
- McCann, J., Rawls, J., Seed, P., & Armstrong, S. (2017). The Intestinal Microbiome and Childhood Obesity. *Current Pediatrics Reports*. <https://doi.org/10.1007/s40124-017-0140-9>
- Menni, C., Jackson, M. A., Pallister, T., Steves, C. J., Spector, T. D., & Valdes, A. M. (2017). Gut microbiome diversity and high-fibre intake are related to lower long-term weight gain. *International Journal of Obesity*, 41(7), 1099–1105. <https://doi.org/10.1038/ijo.2017.66>
- Mohammadi, A., Jafari, S. M., Assadpour, E., & Faridi Esfanjani, A. (2016). Nano-encapsulation of olive leaf phenolic compounds through WPC-pectin complexes and evaluating their release rate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 816–822. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.025>
- NOTIMEX. (2019). Sufren obesidad cerca de 6 mil niños en Querétaro. Retrieved March 6, 2020, from

- Código Querétaro website: <http://codigoqro.mx/2019/10/28/sufren-obesidad-cerca-de-6-mil-ninos-en-queretaro>
- O' Mahony, S. M., Stilling, R. M., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2015). The microbiome and childhood diseases: Focus on brain-gut axis. *Birth Defects Research Part C - Embryo Today: Reviews*, 105(4), 296-313. <https://doi.org/10.1002/bdrc.21118>
- Oomah, B. D., Cardador-Martínez, A., & Loarca-Piña, G. (2005). Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 935-942. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2019>
- Ramírez-Jiménez, A. K., Reynoso-Camacho, R., Mendoza-Díaz, S., & Loarca-Piña, G. (2014). Functional and technological potential of dehydrated *Phaseolus vulgaris* L. flours. *Food Chemistry*, 161, 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.008>
- Rein, M. J., Renouf, M., Cruz-Hernandez, C., Actis-Goretta, L., Thakkar, S. K., & da Silva Pinto, M. (2013). Bioavailability of bioactive food compounds: a challenging journey to bioefficacy. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 75(3), 588-602. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04425.x>
- Ríos-Covián, D., Ruas-Madiedo, P., Margolles, A., Gueimonde, M., De los Reyes-Gavilán, C. G., & Salazar, N. (2016). Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health. *Frontiers in Microbiology*, 7(FEB), 1-9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00185>
- Sáyago-Ayerdi, S. G., Zamora-Gasga, V. M., & Venema, K. (2017). Prebiotic effect of predigested mango peel on gut microbiota assessed in a dynamic **in vitro** model of the human colon (TIM-2). *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.024>
- Scott, K. P., Martin, J. C., Duncan, S. H., & Flint, H. J. (2014). Prebiotic stimulation of human colonic butyrate-producing bacteria and bifidobacteria, in vitro. *FEMS Microbiology Ecology*, 87(1), 30-40. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12186>
- Stilling, R. M., van de Wouw, M., Clarke, G., Stanton, C., Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2016). The neuropharmacology of butyrate: The bread and butter of the microbiota-gut-brain axis? *Neurochemistry International*, Vol. 99, pp. 110-132. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2016.06.011>
- Thakur, G., Rousseau, D., & Rafanan, R. R. (2013). GELATIN BASED MATRICES FOR DRUG DELIVERY APPLICATIONS. In G. Boran (Ed.), *Gelatin: Production, Applications and Health Implications* (pp. 49-70). Nova Science Publishers, Inc.
- Vitali, B., Ndagijimana, M., Maccaferri, S., Biagi, E., Guerzoni, M. E., & Brigidi, P. (2012). An in vitro evaluation of the effect of probiotics and prebiotics on the metabolic profile of human microbiota. *Anaerobe*, 18(4), 386-391. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.04.014>
- Wall Medrano, A., Olivas Aguirre, F. J., Ayala Zavala, J. F., Domínguez Avila, J. A., Gonzalez Aguilar, G. A., Herrera Cazares, L. A., & Gaytan Martinez, M. (2020). Health Benefits of Mango By products. In *Food Wastes and By products* (pp. 159-191). <https://doi.org/10.1002/9781119534167.ch6>
- Wu, Y., Li, X., Xiang, W., Zhu, C., Lin, Z., Wu, Y., ... Yu, J. (2012). Presence of tannins in sorghum grains is conditioned by different natural alleles of Tannin1. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(26), 10281-10286. <https://doi.org/10.1073/pnas.1201700109>
- Zamora-Gasga, V. M., Loarca-Piña, G., Vázquez-Landaverde, P. A., Ortiz-Basurto, R. I., Tovar, J., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2015). *In vitro* colonic fermentation of food ingredients isolated from Agave tequilana Weber var. azul applied on granola bars. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 766-772. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.032>

