

ASPECTOS NUTRACÉUTICOS DE LOS MAÍCES PIGMENTADOS: DIGESTIBILIDAD DE LOS CARBOHIDRATOS Y ANTOCIANINAS

NUTRACEUTIC ASPECTS OF PIGMENTED MAIZE: DIGESTIBILITY OF CARBOHYDRATES AND ANTHOCYANINS

L. Arturo Bello-Pérez¹, Gustavo A. Camelo-Mendez¹, Edith Agama-Acevedo¹, Rubí G. Utrilla-Coello²

¹Instituto Politécnico Nacional, CEPROBI, Km. 8.5 carretera Yauatepec-Jojutla, colonia San Isidro, 62731 .Yauatepec, Morelos, México. labellop@ipn.mx. ²Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca, Hornos No. 1003, Colonia Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán, 71230. Oaxaca, México.

RESUMEN

Los maíces pigmentados se usan tradicionalmente en la alimentación en diversos países, principalmente de América Latina. En México se usan en productos nixtamalizados como las tortillas, botanas, tostadas y tamales, entre otros. El principal componente del grano de maíz es el almidón, el cual imparte las propiedades funcionales y nutricionales a los productos elaborados con este cereal. Las antocianinas dan la coloración características a estos maíces y tienen propiedades benéficas para la salud de los humanos. Las antocianinas están asociadas con la prevención de padecimientos, como el cáncer, por sus propiedades antioxidantes, ya que secuestran radicales libres en el torrente sanguíneo, los cuales están asociados con el desarrollo de estas patologías. Las interacciones entre compuestos bioactivos y carbohidratos son importantes porque pudieran limitar o potenciar su bioaccesibilidad y disminuir la digestibilidad del almidón. El estudio de las interacciones entre carbohidratos y antocianinas en maíces pigmentados está poco desarrollado, pero las evidencias señalan la función nutraceutica de ambos compuestos, por lo cual es necesario realizar más investigación al respecto.

Palabras claves: maíz; almidón; antocianinas; fibra dietética.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es la base de la alimentación de México y otras culturas. México es el centro de origen del maíz y su nixtamalización es importante en el aporte nutricional de este cereal. los productos de maíz nixtamalizado, como

ABSTRACT

Pigmented maize is traditionally used as food in various countries, particularly in Latin America. In Mexico its use is in nixtamalized products such as tortillas, snacks, toasted tortillas and tamales, among others. The main component of the maize grain is starch, which provides functional and nutritional properties to the products that are elaborated with this cereal. The anthocyanins give the characteristic color to these types of maize and have beneficial properties for human health. Anthocyanins are associated with disease prevention, such as cancer, due to its antioxidant properties, as they seize free radicals in the bloodstream that are associated with the development of these disorders. The interactions between bioactive compounds and carbohydrates are important because they could limit or boost bio-accessibility and reduce the digestibility of starch. The study of the interactions between carbohydrates and anthocyanins in pigmented maize is underdeveloped, but evidence indicates the nutraceutical function of both compounds, and as such it is necessary to carry out further research in this sense.

Key words: maize; starch; anthocyanins; dietary fiber.

INTRODUCTION

Maize (*Zea mays* L.) is the staple food of the diet in Mexico and other cultures. Mexico is the center of origin for maize, whose nixtamalization provides an important nutritional contribution to this cereal. Nixtamalized maize products like tortillas and other snacks are consumed in countries as diverse as China and Australia.

White and yellow maize are the main varieties used in nixtamalized products, but in other regions,

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: septiembre, 2015. Aprobado: marzo, 2016.

Publicado como ENSAYO en *Agrociencia* 50: 1041-1063. 2016.

las tortillas y botanas, se consumen en países tan diversos como China y Australia.

Los maíces blanco y amarillo son los más usados para la elaboración de productos nixtamalizados, pero en otras regiones, sobre todo del centro de México, se usan variedades pigmentadas con colores rojo, azul, morado y negro, los cuales se deben a las antocianinas presentes, principalmente, en el pericarpio y la capa de aleurona. Las personas de esas regiones prefieren el consumo de tortillas, tamales y atoles con estos maíces pigmentados porque, ellos dicen, el sabor y textura es diferente a los elaborados con maíz blanco y amarillo. Estudios realizados en el almidón de maíces pigmentados mostraron características fisicoquímicas, moleculares y estructurales similares (Agama-Acevedo *et al.*, 2005, 2008), pero investigaciones con tortillas elaboradas con maíces pigmentados muestran menor digestibilidad del almidón (Hernández-Uribe *et al.*, 2007), y podría haber un efecto de las antocianinas. Hay estudios en maíces pigmentados enfocados al aislamiento de las antocianinas para su uso farmacéutico y alimentario, y otros al uso de los maíces pigmentados para elaborar alimentos que presenten propiedades antioxidantes.

Este ensayo muestra la importancia de las interacciones entre antocianinas y carbohidratos, los posibles mecanismos para disminuir la digestión y absorción de los carbohidratos glucémicos, así como hacia donde deberían dirigirse los esfuerzos de investigación para avanzar en el conocimiento sobre esta temática.

GENERALIDADES DEL MAÍZ

El maíz es una de las plantas con mayor domesticación y evolución y, además, su diversidad genética está concentrada en Mesoamérica, principalmente en México, que es el principal centro de origen, domesticación y diversificación del maíz. La diversidad es muy amplia y en el país hay 59 razas de maíz descritas (Sánchez *et al.*, 2000), lo cual es un porcentaje significativo de las 220 a 300 razas existentes en América (Kato *et al.*, 2009). Las razas muestran variantes de grano pigmentado, con colores del negro hasta rosa pálido, y los más comunes son rojo y azul/morado (Salinas, 2010).

La producción mundial anual de maíz es superior a 1000 millones Mg y los principales productores son EE. UU., China, Brasil, Unión Europea, Argentina, y

especialmente en central México, otras variedades pigmentadas como rojo, azul, morado y negro se usan. Estos colores se deben a las antocianinas que están presentes, principalmente en el pericarpio y la capa de aleurona. La gente de esta región prefiere consumir “tortillas”, “tamales” y “atoles” con estas variedades pigmentadas de maíz porque dicen que el sabor y la textura son diferentes a los elaborados con maíz blanco y amarillo. Mientras que estudios con el almidón de maíz pigmentado han mostrado características fisicoquímicas, moleculares y estructurales similares (Agama-Acevedo *et al.*, 2005, 2008), la investigación ha mostrado que las tortillas elaboradas con estas variedades pigmentadas de maíz tienen una menor digestibilidad del almidón (Hernández-Uribe *et al.*, 2007), lo que podría ser un efecto de las antocianinas. Hay estudios de maíz pigmentado que se centran en la aislamiento de las antocianinas para su uso farmacéutico y alimentario, mientras que otros se centran en el maíz pigmentado para elaborar alimentos que tengan propiedades antioxidantes.

Este ensayo muestra la importancia de la interacción entre antocianinas y carbohidratos, los posibles mecanismos para reducir la digestión y absorción de carbohidratos glucémicos, así como donde la futura investigación debería enfocarse para avanzar en el conocimiento sobre este tema.

GENERALITIES ABOUT MAIZE

Maize is one of the plants with greater domestication and evolution, and moreover, its genetic diversity is concentrated in Mesoamerica, principally Mexico, which is the principal center of origin, domestication and diversification of this plant. The diversification is very extensive, and in the country there are 59 maize races described (Sánchez *et al.*, 2000), which is a significant percentage of the 220 to 300 species that exist in the Americas (Kato *et al.*, 2009). The races show pigmented grain varieties, with colors that range from black to light pink, with the most common being red and blue/purple (Salinas, 2010).

The annual world production of maize is greater than 1000 million Mg, with the principle producers being the United States, China, Brazil, the European Union, Argentina and Ukraine (FAO, 2015; Singh *et al.*, 2011). In Mexico the production of maize in 2012 was 22,069,254 Mg (SIAP, 2013). However, there are no official statistics about the world or

Ucrania (FAO, 2015; Singh *et al.*, 2011). En México la producción de maíz en el año 2012 fue 22 069 254 Mg (SIAP, 2013). Sin embargo, no hay estadísticas oficiales actuales acerca de la producción mundial y nacional de los maíces pigmentados, y solamente hay datos reportados en los estados de Chiapas (Salinas *et al.*, 2012a), Sinaloa, Tlaxcala (Agama-Acevedo *et al.*, 2011) y Estado de México (Salinas *et al.*, 2010). Esto se debe a que los maíces pigmentados son producidos por agricultores de subsistencia, en pequeñas superficies, y la mayor parte de su producción es para autoconsumo. En el Estado de México y el estado de Puebla, la relación beneficio/costo de la producción de maíz azul es 2.24, lo cual es superior a la razón 1.57 del maíz comercial de grano blanco (Keleman y Hellin, 2009). El desarrollo y cultivo de otras variedades e híbridos pigmentados aumenta en Bolivia, Alemania, China y EE.UU.

En México, el consumo diario promedio de maíz es 335 g, lo cual equivale a 122 kg año⁻¹ (FAO, 2012), y es en forma de tortillas, gorditas, pinoles, atoles, tostadas, botanas, tamales, elotes y muchos otros (Figuroa *et al.*, 2005). El maíz también se usa en varias industrias como la textil, cosméticos y alimentaria (Rooney y Serna-Saldivar, 2003), por lo cual su importancia económica es mundial.

MAÍCES PIGMENTADOS Y SUS PRODUCTOS

Los genotipos de maíz pigmentado son frecuentes en los Andes Peruanos, ya que los maíces pigmentados comprenden tanto los que deben su color a pigmentos como carotenoides (amarillos), como los que tienen pigmentos tipo antociano (rojos, morados, rosas, entre otros), compuestos presentes en el pericarpio y en la capa de aleurona o en ambas estructuras del grano (Wellhausen *et al.*, 1951; Salinas, 2010). Hay una presencia marginal (0.07 a 008 mg grano⁻¹) de estos polifenoles en el endospermo y el embrión (Cui *et al.*, 2012). La acumulación del pigmento en las estructuras del grano determina el posible uso de este tipo de maíces. Por ejemplo, si el pigmento se concentra en la aleurona, el grano se puede usar para la nixtamalización y elaborar productos con tonalidades azules, pero si se acumula en el pericarpio y en cantidad suficiente el grano pigmentado se podría utilizar para la extracción de pigmentos (Salinas *et al.*, 1999; Salinas, 2009).

national production of pigmented maize and this data is only reported in the states of Chiapas (Salinas *et al.*, 2012a), Sinaloa, Tlaxcala (Agama-Acevedo *et al.*, 2011) and the Estado de Mexico (Salinas *et al.*, 2010). This is due to the fact that pigmented maize is produced by subsistence farmers on small parcels and the majority of their production is for self-consumption. In the Estado de Mexico and state of Puebla, the cost-benefit relationship of the production of blue maize is 2.24, which is greater than the ratio 1.57 of commercial maize of white grain (Keleman y Hellin, 2009). The development and the cultivation of other pigmented varieties and hybrids have increased in Bolivia, Germany, China and the United States.

In Mexico, the daily consumption of maize is 335 g, which is equivalent to 122 kg each year⁻¹ (FAO, 2012), and comes in the form of tortillas, gorditas, pinoles, atoles, toasted tortillas, snacks, tamales, corn on the cob and many others (Figuroa *et al.*, 2005). Maize is also used in various industries like textile, cosmetics, and food (Rooney y Serna-Saldivar, 2003), which make it economically important globally

PIGMENTED MAIZE AND ITS PRODUCTS

Pigmented maize genotypes are common in the Peruvian Andes, as pigmented maize is understood as those that owe their color to pigments like carotenoid (yellows), as well as those that have anthocyanin pigments (reds, purples, pinks, among others) in the pericarp and the aleuronic layer or in both structures of the grain (Wellhausen *et al.*, 1951; Salinas, 2010). There is a marginal presence (0.07 a 008 mg grano⁻¹) of these polyphenols in the endosperm and the embryo (Cui *et al.*, 2012). The accumulation of pigment in the grain structures determines the possible use of these varieties of maize. For example, if the pigment concentrates in the aleuronic layer, the grain can be used for the nixtamalization and produce products with blue tones. However, if the pigment concentrates in the pericarp the amount is sufficient enough, the pigmented grain could be used for the extraction of pigments (Salinas *et al.*, 1999; Salinas, 2009).

In the states of Chiapas, Oaxaca and the State of Mexico, the maize species are pigmented: Olotillo, Tehua, Olotón, Tepecintle, Vandeño, Zapalote Chico

En los estados de Chiapas, Oaxaca y el Estado de México, están las razas de maíces pigmentados: Olotillo, Tehua, Olotón, Tepecintle, Vandeño, Zapalote Chico y Grande, Bolita, Cónico, Mushito y Tuxpeño (Salinas-Moreno *et al.*, 2012a, 2013), pero no hay estadísticas sobre su producción. La diversidad de maíces pigmentados y por lo tanto su diversidad de usos, se puede observar en sus propiedades físicas (Cuadro 1), las cuales son importantes para elegir el uso de los maíces pigmentados y las características de textura y sabor de los productos elaborados con ellos.

El consumo de maíces pigmentados aumentó en EE.UU., mientras que en México los maíces pigmentados se usan principalmente para elaborar tortillas en el autoconsumo, pero también se ocupan en pequeña escala en establecimientos comerciales de comida típica. Sin embargo, de la producción total de maíz en México, los maíces pigmentados representan solo el 10 %, lo cual indica un aprovechamiento bajo, pues su contenido nutricional y propiedades nutraceuticas representa una gran oportunidad para el desarrollo

y Grande, Bolita, Cónico, Mushito and Tuxpeño (Salinas-Moreno *et al.*, 2012a, 2013), but there are no statistics about their production. The diversity of pigmented maize, and its diverse uses, can be observed in its physical properties (Table 1), which is important to choose the variety of pigmented maize and the characteristics of texture and taste for the products that will be elaborated from these.

The consumption of pigmented maize increased in the United States, whereas in Mexico, pigmented maize is primarily used to elaborate tortillas for self-consumption, as well as on a small-scale, in commercial establishments to be used as traditional food. However of the total production of maize in Mexico, the pigmented maize only represents 10%, which indicates low achievement, since its nutritional content and nutraceutical properties represents a significant opportunity for the development of new products with new or better functional and nutritional characteristics.

The nutraceutical properties of pigmented maize are related to its high content of anthocyanins, which

Cuadro 1. Propiedades físicas de los maíces pigmentados.
Table 1. Physical properties of pigmented maize.

Maíz	Peso de cien granos (g)	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)	Índice de flotación	Referencia
Azul-Rojo(Arrocillo amarillo)	26.8	75.6	27.1	Salinas-Moreno <i>et al.</i> (2003)
Azul-Rojo (Bolita)	36.8	74.9	57.1	
Azul-Rojo (Elotes Chalqueños)	46.0	71.2	82.2	
Azul-Rojo (Azul x Cristalino de Chihuahua)	33.3	75.2	80.3	
Blanco (México)	34.9			Del Pozo-Insfran <i>et al.</i> (2007)
Azul (México)	38.2	Nd	nd	
Azul(EE.UU.)	32.0			
Azul/Rojo (Olotillo)	38.2 ²		49	Salinas-Moreno <i>et al.</i> (2012a)
Azul (Olotón)	26.7		38	
Azul, rojo, magenta (Tehua)	39.9		34	
Azul (Tepecintle)	42.9	Nd	51	
Azul, rojo, magenta (Tuxpeño)	37.3		31	
Azul, rojo, magenta (Vandeño)	35.7		25	
Azul (Zapalote grande)	31.3		38	
Azul/Morado (Chalqueño)	25.1-46.8			
Azul/Morado (Elote cónico)	24.8-46.8	Nd	nd	
Azul/Morado (Bolita)	39.2-46.8			
Azul/Morado (Tropicales)	27.2-33.7	75.1-79.9	16-73	Salinas-Moreno <i>et al.</i> (2013)
Azul/Morado (Subtropicales)	34.5-40.6	77.9-80.7	22-37	
Azul/Morado (Bolita)	37.3-47.5	75.9-79.7	8-69	
Azul/Rojo (Híbridos) Celaya	30.1-43.7		10-99.3	
Azul/Rojo (Híbrido) Morelia	30.1-42.9	Nd	10-96.6	Urias-Peraldi <i>et al.</i> (2013)

Nd: no determinado ♦ Nd; not determined.

de nuevos productos, con nuevas o mejores características funcionales y nutricionales.

Las propiedades nutraceuticas de los maíces pigmentados están relacionadas con su contenido alto de antocianinas, las cuales poseen actividad biológica benéfica (antioxidante) derivada de sus metabolitos secundarios (Ruiz *et al.*, 2008; Mora-Rochin *et al.*, 2010; Mendoza-Díaz *et al.*, 2012). Estos compuestos tienen una acción positiva en la salud, por su actividad antioxidante, reducen la mutagénesis (López-Martínez *et al.*, 2009; Zhao *et al.*, 2009) y la proliferación del crecimiento de células cancerosas (Jing *et al.*, 2008; Urias-Lugo *et al.*, 2015), y antiinflamatoria (Li *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2013). Además, las antocianinas del grano de maíz tienen acción protectora hacia las nefropatías que se desarrollan en pacientes con diabetes tipo 2 (Li *et al.*, 2012). Sin embargo, estas propiedades se pierden por la cocción del maíz antes de su consumo, por lo cual se debe estudiar como el tipo de cocción y la duración del tratamiento térmico afectan las propiedades de las antocianinas en el cuerpo humano.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química del grano de maíz es afectada por el genotipo (variedad), por el medio ambiente y por las condiciones de cultivo (Cuadro 2).

possess beneficial biological activity (antioxidants), derived from its secondary metabolites (Ruiz *et al.*, 2008; Mora-Rochin *et al.*, 2010; Mendoza-Díaz *et al.*, 2012). These compounds have a positive effect on health: their antioxidant activity reduces mutagenesis (López-Martínez *et al.*, 2009; Zhao *et al.*, 2009) and the proliferation of the growth of cancerous cells (Jing *et al.*, 2008; Urias-Lugo *et al.*, 2015), and anti-inflammatory cells (Li *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2013). Besides, anthocyanins in the maize grain have a protecting action against nephropathy that develops in patients with type-2 diabetes (Li *et al.*, 2012). However, these properties are lost during the boiling of the maize before its consumption. As such, the cooking method and the duration of the thermal treatment should be studied to see how these factors affect the properties of the anthocyanins in the human body.

CHEMICAL COMPOSITION

The chemical composition of the maize grain is affected by the genotype (variety), the environment and by the conditions during cultivation (Table 2).

On average, makes up 10 % of maize and the majority of it is found in the endosperm of the grain. Pigmented maize (blue and black) has an 8.2 to 9.4 % composition of proteins (Agama-Acevedo *et al.*,

Cuadro 2. Composición química de maíces pigmentados (g 100 g⁻¹)
Table 2. Chemical composition of pigmented maize (g 100 g⁻¹)

Maíz	Humedad	Proteínas	Cenizas	Lípidos	Carbohidratos	Referencia
Blanco	6.6	9.3	1.2	4.8	78.2	Agama-Acevedo <i>et al.</i> (2005)
Azul	9.8	8.2	1.1	3.7	77.2	
Negro	8.4	9.4	1.6	4.0	76.2	
Blanco	6.3	7.5	0.6	0.2	78.7	Utrilla <i>et al.</i> (2009)
Azul	7.4	8.3	0.3	0.5	84.1	
Conejo		10.1		4.7		
EO		10.2		4.4		
Olotillo		10.2		4.3		
Tepeantle		9.6		4.4		
Tuxpeño	ND	9.8	ND	4.2	ND	Salinas-Moreno <i>et al.</i> (2013)
ZC		9.7		5		
Chiquito		11		5		
EC		10.5		4.6		
EO		10		5.2		
Bolita		10-11.6		5-5.6		

ND: no determinado ♦ x ND: not determined.

En promedio, el contenido de proteína del maíz es 10 % y una gran parte se encuentra en el endospermo del grano. Los maíces pigmentados (azul y negro) tienen 8.2 a 9.4 % de proteína (Agama-Acevedo *et al.*, 2005; Utrilla-Coello *et al.*, 2009), mientras que en el estado de Oaxaca las razas de maíces pigmentados adaptados a climas tropicales tienen 9.5 a 10.4 % y 10.1 a 10.6 % en climas subtropicales y en algunas formas segregantes de la raza Bolita hay una relación positiva entre la dureza del grano y el contenido de proteína que se atribuye a una mayor presencia de cuerpos proteínicos (prolaminas) que rodean a los gránulos de almidón (Salinas-Moreno *et al.*, 2013). En el grano de maíz puede presentarse una relación de endospermo vítreo: harinoso de 2:1, pero varía considerablemente de acuerdo con la raza (Inglett *et al.*, 1970).

El contenido de lípidos en el grano de maíz es alrededor de 5 % y están localizados principalmente en el germen. En los maíces pigmentados el contenido varía de 3.7 a 5 % (Agama-Acevedo *et al.*, 2004; Salinas-Moreno *et al.*, 2013), pero en el endospermo de maíz azul hay solo 0.52 % (Utrilla-Coello *et al.*, 2009). El contenido de cenizas, esto es los minerales presentes en los maíces pigmentados, es \approx 1-2%, y la mayoría está en el germen del grano.

Los carbohidratos son el componente mayoritario del grano de maíz, en los maíces pigmentados varían de 76 a 84 % (Agama-Acevedo *et al.*, 2004). El almidón es el principal carbohidrato del maíz y está formado por amilosa o componente lineal y la amilopectina o componente ramificado (Cuadro 3). El almidón de los maíces pigmentados presenta \approx 20 % de amilosa, pero hay razas con 13 % (De la Rosa-Millán *et al.*, 2010), lo cual indica diferencias en la organización de estos dos componentes dentro del granulo del almidón y por lo tanto diferencias en sus propiedades funcionales y nutricionales. A pesar de la diversidad de razas de maíces pigmentados, hay pocos estudios sobre las características de su almidón, por lo cual se debe investigar más para potencializar su uso o aplicación.

ANTOCIANINAS

Las antocianinas son compuestos fenólicos del grupo de flavonoides (Escribano-Bailón *et al.*, 2004) y en su fórmula hay dos anillos aromáticos unidos por una estructura de tres carbonos (Gross, 1987).

2005; Utrilla-Coello *et al.*, 2009), whereas in the state of Oaxaca, the species of pigmented maize that has adapted to tropical climates have 9.5 to 10.4 % protein makeup and a 10.1 to 10.6 % in subtropical climates, and in some segregating varieties of the species Bolita, there is a positive relationship between the hardness of the grain and the protein composition that is attributed to a greater presence of protein bodies (prolamins) that surround the starch granules (Salinas-Moreno *et al.*, 2013). A vitreous endosperm relationship can be present in the maize grain: floury of 2:1, but it varies considerably according to the race (Inglett *et al.*, 1970).

The lipid content of the maize grain is about 5 % and is principally located in the seed. In pigmented maize, the content varies between 3.7 to 5 % (Agama-Acevedo *et al.*, 2004; Salinas-Moreno *et al.*, 2013), but in the endosperm of blue maize, there is only 0.52 % (Utrilla-Coello *et al.*, 2009). The ash content, that is the minerals present in pigmented maize, is \approx 1 to 2 %, and the majority is in the seed of the grain.

Carbohydrates are the major component of the maize grain, and in pigmented maize they vary from 76 to 84 % (Agama-Acevedo *et al.*, 2004). Starch is the main carbohydrate in maize and is formed by amylose, or linear component, and amylopectin, or branched component (Table 3). The starch in pigmented maize presents \approx 20 % of amylose, but

Cuadro 3. Contenido de almidón y amilosa en maíces pigmentados (g 100 g⁻¹).

Table 3. Starch and amylose content in pigmented maize (g 100 g⁻¹).

Maíz	Almidón	Amilosa	Referencia
Blanco	60.21	27.2	Agama-Acevedo <i>et al.</i> (2004)
Negro	79.20	22.3	
Azul	73.4	20.3	
Blanco	78.7	26.3	Utrilla-Coello <i>et al.</i> (2009)
Azul	84.1	23.1	
101		23.5	De la Rosa Millán <i>et al.</i> (2010)
111		28	
177	ND	13	
196		20.5	
444		21	
455		18	
Blanco	70.9-76.2	20.5-32.8	
Azul	71.3-81.73	22.3-27.4	

ND: no determinado ♦ ND: not determined.

En su forma natural, esta estructura se encuentra esterificada a uno o varios azúcares, y se denominan antocianinas simples; pero si además del azúcar en la molécula hay un radical acilo, entonces son antocianinas aciladas (Strack y Wray, 1989). El contenido de antocianinas varía entre razas (Cuadro 4); los maíces con contenido bajo de antocianinas son los maíces amarillos y rosas, con valores medios están los maíces azules, y los más altos están en los granos de colores morado y negro (Salinas-Moreno *et al.*, 2013).

En el maíz, las antocianidinas son peonidina (Aoki *et al.*, 2002; Abdel-Aal *et al.*, 2006; Montilla *et al.*, 2011; Zilic *et al.*, 2012; Salinas-Moreno, *et al.*, 2012b), malvidina (Caldwel y Peterson, 1992), cianidina, (Aoki *et al.*, 2002; Abdel-Aal *et al.*, 2006; Zilic *et al.*, 2012) y pelargonidina (Aoki *et al.*, 2002; Montilla *et al.*, 2011; Zilic *et al.*, 2012) y los glucósidos de las antocianidinas son las antocianinas. Salinas-Moreno *et al.* (1999) analizaron las antocianinas en maíces de grano azul y rojo de cuatro razas, y encontraron que en los maíces de grano azul, las antocianinas derivan de cianidina y malvidina, y predominan los derivados de la primera; en los maíces de grano rojo provinieron de pelargonidina, cianidina, malvidina y un aglicón no identificado. La caracterización del tipo de antocianinas en los maíces pigmentados es importante, pero más importante es el efecto asociado al consumo de los maíces pigmentados, después de su procesamiento (e.g. nixtamalización). Urias-Lugo *et al.* (2015) evaluaron antocianinas de un híbrido de maíz azul y un maíz azul nativo, en la proliferación de células de cáncer de mama (MCF7), hígado (HepG2), colon (Caco2 y HT29) y próstata (PC3), y encontraron que los extractos acidificados presentaron una mayor actividad anti-proliferativa.

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y BIODISPONIBILIDAD

El maíz pigmentado presenta beneficios potenciales más allá de su valor nutricional. Así, los maíces azul y rojo inhiben la carcinogénesis colon-rectal en ratas macho (Hagiwara *et al.*, 2001), presentan propiedades antimutagénicas (Yoshimoto *et al.*, 1999) y captación de radicales libres (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006, 2007); éste último es un mecanismo aceptado para la actividad antioxidante relacionado con la inhibición de la peroxidación lipídica (Brand-Williams *et al.*, 1995). La función de las antocianinas en las

there are species with 13 % (De la Rosa-Millán *et al.*, 2010), which indicates differences in the organization of these components inside the starch granule and as such, there are differences in the functional and nutritional properties. Despite the diversity in the species of pigmented maize, there are few studies about the characteristics of their starch, which is a topic that should be further investigated to strengthen its use and application.

ANTHOCYANINS

Anthocyanins are phenolic compounds from the flavonoid group (Escribano-Bailón *et al.*, 2004) and in their formula there are two aromatic rings connected by a three-carbon structure (Gross, 1987). In their natural form, this structure is found esterified to one or two sugars, denominating them simple anthocyanins; however, if in addition to the sugar in the molecule, there is an acyl radical, then, these are called acrylate anthocyanins (Strack and Wray, 1989). The anthocyanin content varies between species (Table 4); maize with low anthocyanin content are yellow and pink maize; those with medium levels of anthocyanins are blue; and maize with the highest levels are those with purple and black grains (Salinas-Moreno *et al.*, 2013).

In maize, anthocyanins are peonidin (Aoki *et al.*, 2002; Abdel-Aal *et al.*, 2006; Montilla *et al.*, 2011; Zilic *et al.*, 2012; Salinas-Moreno, *et al.*, 2012b), malvidin (Caldwel and Peterson, 1992), cyanidin, (Aoki *et al.*, 2002; Abdel-Aal *et al.*, 2006; Zilic *et al.*, 2012) and pelargonidin (Aoki *et al.*, 2002; Montilla *et al.*, 2011; Zilic *et al.*, 2012), and the anthocyanin glycosides are the anthocyanins. Salinas-Moreno *et al.* (1999) analyzed the anthocyanin in blue and red grain maize in four species, and found that in the blue grain maize, the anthocyanin are derived from cyanidin and malvidin, and are predominately derived from the former; red-grain maize is derived from pelargonidin, cyanidin, malvidin and an unidentified aglycone. The characterization of the type of anthocyanins in pigmented maize is important, but the effect associated with the consumption of pigmented maize after its processing (*i. e.* nixtamalization) is even more important. Urias-Lugo *et al.* (2015) evaluated anthocyanins from blue maize hybrid and native blue maize for the proliferation of cancer cells in breasts (MCF7),

Cuadro 4. Contenido de antocianinas en maíces pigmentados.
Table 4. Anthocyanin content in pigmented maize

Maíz	Origen	Antocianinas*	CA	Referencia
Azul Negro	Estado de México, México	291.5±14.4 100.7±17.6	Nd.	Agama-Acevedo <i>et al.</i> (2004)
Azul Rosa	Canadá	196.7±2.-322.7 163.9	Nd.	Abdel-Aal <i>et al.</i> (2006)
Morado		1277		
Rojo escarlata		607.1		
Rojo rubí		69.4		
Rojo carmesí		50.9		
Azul	Querétaro, México	271.2±2.1	Nd.	Cortés <i>et al.</i> (2006)
Blanco	Toluca, México	nd	17.4 ¹	Del Pozo-Insfran <i>et al.</i> (2007)
Azul	Nuevo México, EE.UU.	342.2	29.6 ¹	
Azul		260.9	25.6 ¹	
Rosa (JHY)	China	127.4.1	Nd.	Zhao <i>et al.</i> (2008)
Gris (BP)		292.2±8.6		
Rojo carmesí (SZ)		1493±56.3		
Morado (JHN)		2565±112.1		
Negro (EZPC)		3045±163.2		
Negro	D.F., México	762±22	-74 ²	López-Martínez <i>et al.</i> (2009)
Morado		932±11	-76 ²	
Rojo	Puebla, México	852±22	-75 ²	
Azul	D.F., México	995±18	-55 ²	
Naranja	Oaxaca, México	306±9	-35 ²	
Amarillo	Veracruz, México	702±9	-90 ²	
Blanco		154±9	-26 ²	
Púrpura	Estado de México, México	1269.4	Nd.	Espinosa-Trujillo <i>et al.</i> (2009)
Rojo	Puebla, México	57.0		
Azul	Tlaxcala, México	371.7		
Morado	Hidalgo, México	48.8		López-Martínez <i>et al.</i> (2011)
Azul	D.F., México	631±14	-54 ²	
Rojo		823±38	-65 ²	
Morado	Veracruz, México	3251±72	-60 ²	
Morado	Cajamarca, Perú	2870±40	20.5 ¹	Ramos-Escudero <i>et al.</i> (2012)
Rojos-Olotillo	Chiapas, México	547.7	81.7 ³	Salinas-Moreno <i>et al.</i> (2012a)
Rojos-Tehuá		105.2-151.7	44.5-66.5 ³	
Rojos-Tuxpeño		71.6-126.0	32.0-89.5 ³	
Rojos-Vandéño		64.7-90.8	37.7-73 ³	
Azul/Morado Chalqueño	D.F., México	720.9-1046.1	34.0-60.3 ³	Salinas-Moreno <i>et al.</i> (2012b)
Azul/Morado	Estado de México, México	997.8-1332.2	46.6-60.4 ³	
Elote Cónico				
Azul/Morado Bolita	Oaxaca, México	304.1-528.0	21-39.5 ³	
Amarillo-Rojo	EE.UU.	2.5±0.06	-24 ⁴	Zilic <i>et al.</i> (2012)
Rojo		15.43±1.64	-26 ⁴	
Rojo oscuro	Serbia	696.07±2.73	-27 ⁴	
Azul claro		378.92±4.89	-35 ⁴	
Azul oscuro	EE.UU.	597.15±6.54	-28 ⁴	
Multicolor	Holanda	139.12±1.63	-19 ⁴	
Híbridos (negros y rojos)	Celaya, México	181.6-769.4	6.8-28 ⁵	Urias-Peraldí <i>et al.</i> (2013)
	Morelia, México	307.2-796.2		

CA: capacidad antioxidante, *Valores expresados en mg equivalentes de cianidina-3-glucosido kg⁻¹ de muestra. La actividad antioxidante esta expresada en: ¹μM de equivalentes de trolox g⁻¹ de muestra; ²Porcentaje de reducción del radical ABTS; ³Porcentaje de reducción del radical DPPH; ⁴mM de equivalentes de trolox kg⁻¹ de muestra; ⁵mM de equivalentes de trolox 100 g⁻¹ de muestra; Nd: no determinado ♦ AC: Antioxidant capacity, *Values are expressed in mg equivalents of cyaniding-3-glucoside kg⁻¹ of the sample. The antioxidant activity is expressed in: ¹μM of equivalents of de trolox g⁻¹ of the sample; ²Percentage of radical reduction; ³Percentage of DPPH radical reduction; ⁴mM of equivalent of trolox kg⁻¹ of the sample; ⁵mM of equivalents of trolox 100 g⁻¹ of the sample; Nd: not determined.

plantas es similar a las funciones de todos los flavonoides: antioxidante, fotoprotectora, mecanismos de defensas, así como otras funciones ecológicas (Escribano-Bailón *et al.*, 2004).

Debido al interés por el desarrollo de alimentos con maíz azul que presenten propiedades antioxidantes, el método de procesamiento es importante en la conservación de las propiedades bioactivas. En este sentido, se ha estudiado el efecto de la nixtamalización sobre los perfiles fitoquímicos (fenoles totales, antocianinas, ácido ferúlico, carotenoides) y capacidad antioxidante de cinco tipos de maíz procesados en masa, tortillas y totopos; se observó que el proceso de nixtamalización redujo significativamente el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante en comparación con los granos crudos (De la Parra *et al.*, 2007). Además, Bello-Pérez *et al.* (2015) estudiaron el efecto de la nixtamalización ecológica (usando sales de calcio) sobre el contenido de antocianinas totales y capacidad antioxidante de tortillas de maíz azul; ellos encontraron que el método ecológico no fue un método agresivo, lo que conservó la capacidad antioxidante de las tortillas en comparación con el uso de cal en el método tradicional de nixtamalización.

Para establecer la ingesta final de las antocianinas y la capacidad antioxidante de los alimentos, como aquellos elaborados con maíz azul (Cuadro 5), es importante tener en cuenta los pre-tratamientos, el tipo de cocción, así como el tipo de producto a elaborar, es decir si se mezcla con otros ingredientes o materias primas. La estabilidad de las antocianinas depende del procesamiento del alimento y la formación de la matriz alimentaria, la cual puede protegerlas de factores como la luz, temperatura y humedad, durante el procesamiento, almacenamiento y consumo del producto (Escribano-Bailón *et al.*, 2004). Los compuestos fenólicos, con propiedades biológicas y químicas interactúan mediante enlaces no covalentes con macromoléculas (proteínas, lípidos y polisacáridos) en sistemas biológicos (Bordenave *et al.*, 2014), con un impacto positivo en las propiedades de textura, nutricionales y sensoriales del producto, lo cual repercute en su biodisponibilidad. Pero los estudios del uso del maíz azul para el desarrollo de alimentos funcionales son limitados, por lo cual se debe investigar más.

CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos, el componente mayoritario de los maíces pigmentados, se encuentran en las células

liver (HepG2), colon (Caco2 y HT29) and prostate (PC3); they found that acidified extracts presented greater anti-proliferative activity.

ANTIOXIDANT CAPACITY AND BIOAVAILABILITY

Pigmented maize has potential benefits beyond its nutritional value. For example, blue and red maize inhibit colorectal carcinogenesis in male rats (Hagiwara *et al.*, 2001), they present anti-mutagen properties (Yoshimoto *et al.*, 1999) and they capture free radicals (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006, 2007); this last point is an accepted mechanism for antioxidant activity related to the inhibition of lipid peroxidation (Brand-Williams *et al.*, 1995). The function of anthocyanins in plants is similar to the function of all of the flavonoids: antioxidants, light protection, defense mechanisms, as well as other ecological functions (Escribano-Bailón *et al.*, 2004).

Because the interest in developing foods with blue maize for its antioxidant properties, the processing method is important in the conservation of bioactive prosperities. In this sense, the effect of the nixtamalization process on the phytochemical profiles (total phenols, anthocyanins, ferulic acid, carotenoids) has been studied, along with the antioxidant capacity of five types of maize processed into dough, tortillas and tortilla chips; the nixtamalization process was observed to significantly reduce the content of total phenols and the antioxidant capacity, in comparison to raw grains (De la Parra *et al.*, 2007). Besides, Bello-Pérez *et al.* (2015) studied the effect of ecological nixtamalization (using calcium salts) on the content of total anthocyanins and the antioxidant capacity of blue maize tortillas; they found that the ecological method was not aggressive and conserved the antioxidant capacity in the tortillas, in comparison to lime, which is used in the traditional nixtamalization process.

To establish the final intake of anthocyanins and the antioxidant capacity of food, such as those elaborated with blue maize (Table 5), one must take into consideration pre-treatments, the type of cooking method, as well as the type of product used (whether it is to be mixed with other ingredients or used as raw material). The anthocyanin stability depends on the processing of the food and the formation of the food matrix, which can protect against factors such as light, temperature and humidity during the processing, and

Cuadro 5. Propiedades antioxidantes de alimentos elaborados con maíz azul.**Table 5. Antioxidant properties in foods elaborated with blue maize**

Producto	Propiedades antioxidantes	Referencia
Tortillas	Presentó aproximadamente del 65-75 % de capacidad antioxidante referente a valores ORAC.	Aguayo-Rojas <i>et al.</i> (2012)
Nejayote	Presentó capacidad antioxidante significativa representada por la metodología ORAC de compuestos libres y unidos (13.791 y 436.66 mM equivalentes trolox 100 g ⁻¹ de muestra respectivamente)	Gutiérrez-Uribe <i>et al.</i> (2010)
Grano	Presentó capacidad antioxidante como inhibición de radical libre DPPH (60 %) y ABTS (55 %)	Lopez-Martínez <i>et al.</i> (2009)
Tortilla de harina nixtamalizada	Presentó capacidad antioxidante significativa por la metodología ORAC de compuestos libres y unidos (0.002 y 0.008 mol equivalentes trolox100 g ⁻¹ de muestra respectivamente)	Mora-Rochin <i>et al.</i> (2010)
Tortilla de harina extruida	Presentó capacidad antioxidante significativa por la metodología ORAC de compuestos libres y unidos (0.0025 y 0.009 mol equivalentes trolox 100 g ⁻¹ de muestra, respectivamente)	Mora-Rochin <i>et al.</i> (2010)
Tortillas y chips	Presentaron capacidad antioxidante significativa por la metodología ORAC (15, 12 y 14, 10 μmol ET g ⁻¹) elaboradas con maíz mexicano y americano, respectivamente	Del Pozo-Insfran <i>et al.</i> (2006)
Tortilla tradicional y nixtamalizada con sal de calcio	Presentaron capacidad antioxidante significativa de los polifenoles extraíbles polifenoles hidrolizables y taninos condensados por las metodologías DPPH(0.5-2.0 mM Trolox/g ⁻¹), ABTS (0.1-0.5 mM Trolox/g) y FRAP (0.1-0.6 mM Trolox/g ⁻¹) respectivamente	Bello-Pérez <i>et al.</i> (2015)

del endospermo, principalmente en forma de almidón. Los carbohidratos representan alrededor del 78 % del peso seco del grano, aunque algunas razas en las que se presentan variantes de maíz azul (Cuadro 2), alcanza hasta 84 %. En el grano de maíz hay una cantidad mínima de carbohidratos sencillos (monosacáridos y disacáridos) conocidos como azúcares y representan alrededor del 2 % del peso seco del grano. El almidón es el principal carbohidratos del maíz y en los maíces pigmentados hay mayor cantidad que en los maíces blancos (Cuadro 3), lo cual estaría relacionado con la biosíntesis del polisacárido y debe ser más estudiado. El almidón como componente mayoritario del grano de maíz, es el que más influencia las propiedades funcionales (textura) y nutricionales (aporte calórico) de los productos que se elaboran con este cereal como tortillas, tamales, pan, galletas, etc. El almidón está formado por dos macromoléculas de glucosa (amilosa y amilopectina); la amilosa es el componente esencialmente lineal y la amilopectina es el componente ramificado. La proporción de ambos componentes en el almidón repercuten en su funcionalidad. Así, almidones con 98-99 % de amilopectina proporcionan alta viscosidad, y almidones con mayor contenido de amilosa forman geles que se

storage and consumption of the product (Escribano-Bailón *et al.*, 2004). Phenolic compounds, with biological and chemical properties interact through non-covalent bonds with macromolecules (proteins, lipids and polysaccharides) in biological systems, (Bordenave *et al.*, 2014), with a positive impact on the texture, nutritional and sensorial properties of the product, which has implications on its bioavailability. However, the studies on the use of blue maize for the development of functional food are limited and as such require more research.

CARBOHYDRATES

Carbohydrates, the main component of pigmented maize, are found in the cells of the endosperm, principally in the form of starch. Carbohydrates represent about 78% of the dry weight of the grain, while in some races, variants of blue maize (Table 2), this can reach up to 84%. There is a minimum amount of simple carbohydrates (monosaccharides and disaccharides) known as sugars in the maize grain and these represent close to 2% of the dry weight of the grain. Starch is the principal carbohydrate in maize, and there is more starch in pigmented maize

endurecen (retrogradan) más rápidamente (Biliaderis, 1991). Los maíces usados en la industria de alimentos tienen una proporción (%) de amilosa: amilopectina de 30:70, por eso se denominan almidones normales. Según De la Rosa-Millán *et al.* (2010), la amilosa varía de 13-28 % en maíces azul.

El almidón está organizado en partículas discretas conocidos como gránulos, cuyo tamaño y forma depende de la fuente botánica (cereal, tubérculo, leguminosa, fruta). El almidón de maíz tiene dos poblaciones de gránulos: pequeños de 1-10 μm y grandes de 15-40 μm . A pesar que las dos poblaciones de gránulos están dentro de una misma fuente, estos tienen diferentes contenidos de amilosa y propiedades fisicoquímicas (Jane, 2006). En almidón aislado de maíz azul se encontraron gránulos con tamaño entre 20 y 40 μm (Agama-Acevedo *et al.*, 2008). Utrilla-Coello *et al.* (2010) encontraron una distribución bimodal en el almidón de maíz azul, donde el máximo del primer pico fue a las 3 μm y representaba 24 % del volumen total; el máximo del segundo pico se presentó en 9 μm y se refiere a la población de gránulos grandes, la cual representó 76 %. El almidón de maíces pigmentados, al igual que el almidón de otros cereales (trigo, arroz, cebada) presentó un patrón de difracción tipo -A (Agama-Acevedo *et al.*, 2008; De la Rosa-Millán *et al.*, 2010).

Agama-Acevedo *et al.* (2013) evaluaron las características del almidón y su relación con las enzimas de su biosíntesis durante el desarrollo del grano de dos variedades de maíz (blanco y azul); a los 50 días después de la polinización (ddp) el maíz azul acumuló mayor cantidad de almidón y menor contenido de amilosa. Además ellos encontraron dos isoformas de la enzima ramificante en el almidón de maíz azul, lo cual está relacionado con la producción de moléculas de amilopectina altamente ramificadas con cadenas cortas, dejando menor espacio disponible dentro de la estructura granular para la síntesis de amilosa. En ese estudio el almidón de maíz azul presentó una mayor temperatura y entalpía de gelatinización que el almidón del maíz blanco, que es importante durante la cocción del maíz y los productos que se elaboran con este cereal. En otros estudios no hubo diferencias en la temperatura de gelatinización y solo pequeños cambios en su entalpía (Agama-Acevedo *et al.*, 2008; De la Rosa-Millán *et al.*, 2010; Utrilla-Coello *et al.*, 2010). Sin embargo, aún falta conocer la organización y distribución de las cadenas de amilopectina

than in white maize (Table 3), which is related to the biosynthesis of the polysaccharide and requires further study. Starch, as the main component in the maize grain, is what most influences the functional (texture) and nutritional (caloric intake) properties of the products that are elaborated with this cereal, like tortillas, tamales, bread, cookies, etc. Starch is formed by macromolecules of glucose (amylose and amylopectin); amylose is an essential linear component while amylopectin is a branched component. The proportion of both components in the starch has implications in its functionality. In this sense, starches with 98-99% of amylopectin provide high viscosity, and starches with higher content of amylose form gels that harden (retrograde) more rapidly (Biliaderis, 1991). The maize used in the food industry has a proportion (%) of amylose: amylopectin of 30:70, denominated normal starches. According to De la Rosa-Millán *et al.* (2010), amylose varies between 13-28 % in blue maize.

Starch is organized in discreet particles known as granules, whose size and shape depends on the botanical source (cereal, tubers, legumes, fruit). Starch from maize has two populations: small granules of 1-10 μm , and large granules between 15-40 μm . Even though the two populations of granules are inside the same source, they have different amylose content and physicochemical properties. (Jane, 2006). In isolated starch of blue maize, granules between 20 y 40 μm were found (Agama-Acevedo *et al.*, 2008). Utrilla-Coello *et al.* (2010) found a bimodal distribution in the starch of blue maize, where the highest point of the first spike was at 3 μm , which represented 24 % of the total volume; the highest point of the second spike was at 9 μm , which is related to the population of large granules and represents 76%. The starch of pigmented maize, like the starch of other cereals (wheat, rice, barley) presents A-type diffraction pattern (Agama-Acevedo *et al.*, 2008; De la Rosa-Millán *et al.*, 2010).

Agama-Acevedo *et al.* (2013) evaluated the characteristics of starch and its relation to the enzymes of its biosynthesis during the development of the grain of two maize varieties (white and blue); 50 days after the pollination (ddp), the blue maize accumulated a greater amount of starch and had less amylose content. Besides, they found two isoforms from the branched enzyme in the starch of the blue maize, which is related to the production

dentro del gránulo de almidón, ya que influyen en las propiedades fisicoquímicas y su digestibilidad.

DIGESTIBILIDAD DEL ALMIDÓN

El almidón es el componente mayoritario del maíz; así, los productos a base de este cereal representan un suministro importante de glucosa en la dieta humana. A principios de la década de 1990 se observó que había una fracción del almidón que no se hidrolizaba y lo llamaron almidón resistente (AR) (Englyst *et al.*, 1992). El consumo de AR fue relacionado con diversos beneficios a la salud, por lo que varios alimentos fueron analizados para conocer la cantidad de AR (Muir *et al.*, 1994; Kritchevsky, 1995; Cummings *et al.*, 1996). Un tipo de AR se forma cuando los alimentos ricos en almidón son cocinados y almacenados, debido al fenómeno de retrogradación del almidón, el cual consiste en un re-arreglo de su estructura que no es reconocido por las α amilasas salival y pancreática, y no puede ser hidrolizado, siguiendo su tránsito hacia el intestino grueso, donde es fermentado por las bacterias del colon. En tortillas de maíz nixtamalizado (granos blancos o amarillos), el incremento de AR fue directamente proporcional al tiempo de almacenamiento y fue favorecido a temperatura de 4 °C (Agama-Acevedo *et al.*, 2005). Sin embargo, las propiedades de digestibilidad del almidón en tortillas elaboradas con maíz azul, no fueron afectadas ni por el tiempo ni la temperatura de almacenamiento. El almidón disponible y el AR no presentaron cambio después de las 48 h de almacenamiento (Hernández-Uribe *et al.*, 2007). Esta característica en las tortillas de maíz azul fue relacionada con sus propiedades térmicas, debido a una baja tendencia a la retrogradación. No se sabía con certeza, si las diferencias encontradas en la digestibilidad del almidón de tortillas de maíz azul, eran debidas a las características físicas de los granos de maíz, al almidón *per se* o a las antocianinas presentes en el grano.

En cuanto a las características físicas del grano de maíz azul, este tiene un endospermo harinoso (Serna-Saldivar, 2010). Las tortillas elaboradas con maíz blanco de endospermo harinoso, no presentaron un incremento en el contenido de AR durante el almacenamiento comparadas con las elaboradas con maíces blanco de endospermo intermedio o vítreo (Osorio-Díaz *et al.*, 2011). Debido a esto, se pensó que el tipo de endospermo del maíz azul podría influenciar la hidrólisis enzimática del almidón.

of highly branched amylopectin molecules with short chains, leaving less available space inside the granular structure for amylose synthesis. In that study, the starch from the blue maize presented a higher temperature and enthalpy of gelatinization than the white maize, which is important during the cooking of maize and the other products made with this cereal. In other studies, there were no differences in temperature of gelatinization, only small changes in its enthalpy (Agama-Acevedo *et al.*, 2008; De la Rosa-Millán *et al.*, 2010; Utrilla-Coello *et al.*, 2010). However, the organization and distribution of the chains of amylopectin inside the starch granule needs to be researched since this influences the physiochemical properties and digestibility.

STARCH DIGESTIBILITY

Starch is the majority component of maize; thus, the products of this cereal represents an important supply of glucose in humans' diets. In the early 1990s, a fraction of starch was found not to hydrolyze, for which it was called resistant starch (RS) (Englyst *et al.*, 1992). The consumption of RS was related to various health benefits, for which a number of foods were analyzed in order to know the amount of RS (Muir *et al.*, 1994; Kritchevsky, 1995; Cummings *et al.*, 1996). One type of RS was formed when foods rich in starch were cooked and stored, which was due to the phenomenon of starch retrogradation that consists of a re-arrangement of its structure that is not recognized by the salivary and pancreatic α -amylases and cannot be hydrolyzed, following its course to the large intestine, where is then fermented by the bacteria found in the colon. In nixtamalized maize tortillas (white or yellow grain) the increase in RS was directly proportional to the storage time and was favored by a temperature of 4 °C (Agama-Acevedo *et al.*, 2005). However, the properties of starch digestibility in tortillas elaborated with blue maize were not affected by time or temperature in storage. The available starch and the RS did not see a change after 48 hours of storage (Hernández-Uribe *et al.*, 2007). This characteristic of blue maize tortillas was related to its thermal properties, due to a low tendency for retrogradation. It was unknown if the differences found in the digestibility of the starch in blue maize tortillas were due to the physical characteristics of the maize grain, the starch *per se* or the anthocyanins present in the grain.

La posibilidad de que las características morfológicas y la organización molecular del almidón, pudieran ser las responsables de las diferencias en la velocidad de hidrólisis enzimática, condujo a realizar la caracterización del almidón de variedades azules, las cuales diferían en el contenido de antocianinas. Las dos variedades de maíz azul mostraron mayor tamaño del gránulo de almidón, menor contenido de amilosa, requirieron mayor energía para desorganizarse, debido a que presentaron mayor porcentaje de cristalinidad, comparados con los granos de maíz de una variedad blanca (Agama-Acevedo *et al.*, 2005, 2008). Debido a esto, las propiedades en la digestibilidad del almidón en tortillas se asociaron a las diferencias encontradas en el almidón presente de cada maíz. Sin embargo, cuando se analizaron variedades de maíz azul con valores similares de antocianinas, no se observaron diferencias considerables sobre todo en sus características moleculares (De la Rosa-Millan *et al.*, 2010).

El interés por conocer la velocidad de hidrólisis del almidón y sus repercusiones originó investigaciones que emulan las condiciones que ocurren durante el proceso de digestión en los seres humanos. El protocolo más utilizado es el propuesto por Englyns *et al.* (1992), que se basa en la velocidad de hidrólisis del almidón; considera que el almidón de digestión rápida (ADR) es hidrolizado durante los primeros 20 min, que el almidón de digestión lenta (ADL) es hidrolizado entre los 20 y 120 min, y que después de 120 min se encuentra el almidón que no se hidroliza o el AR. Pero más allá de la velocidad a la cual es digerido el almidón, la repercusión más importante es el efecto fisiológico que produce su consumo.

El ADR es hidrolizado en la primera fracción del intestino delgado, incrementando la glucosa en sangre inmediatamente después de su consumo, lo cual está asociado a múltiples factores de riesgos relacionados con problemas de obesidad, enfermedades coronarias y problemas cardiacos (Ludwin, 2002; Brennan, 2005). Por el contrario, el ADL es digerido lentamente a lo largo del intestino delgado con la consecuente liberación paulatina de glucosa, por lo que su consumo disminuye las respuestas de glucosa postprandial e insulinémica, así como los ácidos grasos (Seal *et al.*, 2003, Ells *et al.*, 2005); así mismo, aunque no es del todo claro, se incrementa la sensación de saciedad. Esta clasificación del almidón y los beneficios atribuidos al ADL, aumentaron

In terms of the physical characteristics of the blue maize grain, it has a floury endosperm (Serna-Saldivar, 2010). Tortillas elaborated with white maize with a floury endosperm did not present an increase in RS content during the storage compared with the tortillas elaborated with white maize with an intermediate or vitreous endosperm (Osorio-Díaz *et al.*, 2011). Because of this, it was thought that the type of endosperm in blue maize influences the enzymatic hydrolysis of starch.

The possibility that the morphological characteristics and the molecular organization of the starch could be responsible for the differences in the velocity of enzymatic hydrolysis, led to carrying out the characterization of starch from the blue variety, which differ in anthocyanin content. The two varieties of blue maize had a greater starch granule size, lesser content of amylose, and required more energy to disorganize due to a greater percentage of crystallinity compared to maize grains of the white variety (Agama-Acevedo *et al.*, 2005, 2008). Due to this, the digestibility properties of the starch in tortillas are associated with the differences found in the starch present in each type of maize. However, when blue maize was analyzed with similar values of anthocyanins, no considerable differences were observed, especially in the molecular characteristics. (De la Rosa-Millan *et al.*, 2010).

The interest in knowing the rate of starch hydrolysis and its repercussions began research that emulated conditions that occur during the digestive process in humans. The most used protocol is the one proposed by Englyns *et al.* (1992), that is based on the rate of starch hydrolysis; it considers that rapidly digestible starch (RDS) is hydrolyzed during the first 20 min, that slowly digestible starch (SDS) is hydrolyzed between 20 and 120 min, and after 120 min the starch that does not hydrolyze, or the RS is found. Beyond the velocity at which the starch is digested, the most important implication is the physiological effect that is produced when it is consumed.

The RDS is hydrolyzed in the first fraction of the small intestine, increasing the glucose in the blood immediately after its consumption, which is associated with multiple risk factors related to problems such as obesity, coronary diseases and heart troubles (Ludwin, 2002; Brennan, 2005). Contrarily, SDS is digested slowly throughout the small intestine

las investigaciones por incrementar el contenido de ADL en los alimentos, ya sea utilizando materias primas (principalmente cereales que poseen la característica de que su almidón sin cocinar es de digestión lenta) o por adicionar a la formulación del alimento almidones modificados con una velocidad de hidrólisis lenta. En barras nutritivas elaboradas con una mezcla de avena, cebada, trigo y maíz azul, se presentó mayor contenido de ADL (10.8 %), pero menos contenido de AR (3.6 %), comparados con las barras elaboradas donde el maíz azul se cambió por maíz blanco (7.1 % de ADL y 4.4 % de AR) (Utrilla-Coello *et al.*, 2011). El contenido más alto de ADL en la barra donde se usó maíz azul se atribuyó al mayor contenido de lípidos, proteínas y fracción indigerible soluble, los cuales formaron una matriz que ocasionó la hidrólisis lenta del almidón. Carrera *et al.* (2015) reportan un contenido de ADL de 39.8 y 24.6 % en la harina de maíz azul crudo y tostado, respectivamente, para la elaboración de pinole; estos valores fueron superiores a los obtenidos por maíz blanco para el mismo proceso. Estas diferencias pueden estar relacionadas con el contenido de antocianinas y su efecto en la digestibilidad de los carbohidratos, pero requiere de más investigación.

Aun no se sabe con claridad el efecto que pueden tener las antocianinas presentes en el maíz azul sobre la digestibilidad del almidón. Las antocianinas son clasificadas como flavonoides que están dentro del grupo de los polifenoles. Se ha sugerido que los polifenoles pueden: 1) “interferir” con las enzimas digestivas, alterando el proceso de digestión del almidón con reducción de la respuesta de glucosa postprandial, 2) tener un efecto sobre los transportadores de glucosa en el intestino delgado, 3) provocar cambios estructurales en el almidón por la unión con los flavonoides mediante enlaces no covalentes. Hasta el momento no se ha precisado el tipo de enlace entre el almidón y los polifenoles, ya que también se ha especulado la posibilidad de interacciones hidrofóbicas (Barros *et al.*, 2012). Aunque este último punto sigue en controversia, hay reportes de que la presencia de polifenoles (proantocianidina) reduce la digestibilidad del almidón (Barros *et al.*, 2012); otros reportan que la presencia de flavonoles modifica la estructura del almidón, provocando que la amilosa sea más susceptible al ataque por amilasas (Liu *et al.*, 2011). Además, los taninos incrementaron el AR (Barros *et al.*, 2012; Mkandawire *et al.*, 2013), pero disminuyeron

with the subsequent slow release of glucose, for which its consumption reduces the responses of postprandial and insulinemic glucose, as well as fatty acids (Seal *et al.*, 2003, Ells *et al.*, 2005); likewise, even though it isn't completely clear, this increases the feeling of satiety. This classification of starch, and the benefits attributed to SDS, the research to increase the SDS content in food, whether it is used as raw material (principally cereals that possess the characteristics that their starch without cooking is slowly digested) or to add to the development of food starches modified with a slow hydrolysis rate. In nutritional bars elaborated with a mix of oatmeal, barley, wheat and blue maize, there is a larger content of SDS (10.8 %), but less RS content (3.6 %), compared to the bars elaborated where blue maize was exchanged for white maize (7.1 % SDS y 4.4 % AR) (Utrilla-Coello *et al.*, 2011). The highest SDS content found in the bar where blue maize was used is attributed to the high content of lipids, proteins and indigestible soluble fraction, which form a matrix that causes slow starch hydrolysis. Carrera *et al.* (2015) report an SDS content of 39.8 and 24.6 % in the flour of raw and toasted blue maize, respectively, for the elaboration of pinol (a pre Hispanic drink); these values were higher than the ones obtained by white maize for the same process. These differences can be related to the anthocyanin content and its effect on the digestibility of carbohydrates, but it requires more research.

The effect that anthocyanins found in blue maize have on the digestibility of starch is still not known with clarity. Anthocyanins are classified as flavonoids that are part of the group of polyphenol. It has been suggested that polyphenols can: 1) “Interfere” with digestive enzymes, changing the digestive process of starch with the reduction in the response of postprandial glucose; 2) have an effect on the on the carriers of glucose in the small intestine, and 3) provoke structural changes in starch because of the union with flavonoids through non covalent bonds. Up until now, the type of bond between starch and polyphenols has not been defined, since the possibility of hydrophobic interaction is also speculated (Barros *et al.*, 2012). Even though this last point is controversial, there are reported that the presence of polyphenols (proanthocyanidin) reduces the digestibility of starch (Barros *et al.*, 2012); others report that the presences of flavonoids modifies the starch structure, causing the amylose to be more

el ADL (Barros *et al.*, 2012). La información anterior no es clara, porque los autores no especifican si son taninos hidrolizables o taninos condensados, ya que los primeros están formados por ácido gálico, ácidos fenólicos y azúcares libres polimerizados de forma heterogénea, mientras que los segundos son flavonoides polimerizados. Estas diferencias estructurales de los taninos repercuten en su funcionalidad.

El efecto que los polifenoles pueden tener sobre la digestibilidad del almidón, dependerá del tipo y la cantidad de polifenol presente, del proceso de elaboración del producto, si se encuentra de forma natural o si es adicionado al alimento. Los polifenoles que son adicionados al alimento (más del 10 % en base al peso del almidón), producirán alteraciones estructurales en el almidón y en consecuencia la disminución de su digestibilidad; mientras que los polifenoles que se encuentran de manera natural en el alimento actúan como inhibidores de las enzimas α -amilasa y amiloglucosidasa (He *et al.*, 2006).

FIBRA DIETÉTICA

En el maíz, la fibra dietética se encuentra en el pericarpio y está constituida principalmente por arabinosilanos, heterosilanos, celulosa, y ácidos fenólicos, principalmente ácido ferúlico y diferúlico (Carvajal-Millán *et al.*, 2007). El ácido ferúlico es el compuesto fenólico predominante en el salvado de maíz y se encuentra unido a la pared celular (Fry, 1986). En el grano de maíz pigmentado se han encontrado pigmentos en el pericarpio y en la capa de aleurona. La capa de aleurona del maíz azul contiene los pigmentos de antocianina que le confiere su color característico (Escalante-Aburto *et al.*, 2013). Cuando se usa el grano integral de los maíces pigmentados se tiene un plus porque el material puede presentar propiedades antioxidantes, que en años recientes ha cobrado importancia debido a los efectos que tiene en la salud de los humanos, lo cual dependerá del procesamiento del grano de maíz antes de su consumo.

Los arabinosilanos se encuentran principalmente en la pared celular del endospermo, en la capa de aleurona y en el pericarpio del maíz (Carvajal-Millán *et al.*, 2007). Estos compuestos han generado gran interés debido a sus propiedades nutraceuticas, ya que al clasificarse como fibra soluble contribuyen en el control de la diabetes y enfermedades cardiovasculares. Los efectos de los arabinosilanos en esos padecimientos

susceptible to the attack by amylases (Liu *et al.*, 2011). Besides the tannins increased the RS (Barros *et al.*, 2012; Mkandawire *et al.*, 2013), they reduced SDS (Barros *et al.*, 2012). The latter information is unclear because the authors do not specify if the tannins are hydrolysable or condensed; the former are formed by malic acid, phenolic acids and free sugars polymerized heterogeneously, while the latter are polymerized flavonoids. These structural differences in the tannins impact functionality.

The effect that polyphenols can have on the digestibility of starch depends on the type and amount of polyphenols present, the elaboration process of the product and if they are found in their natural form or are added to the food. The polyphenols that are added to food (more than 10% based on the weight of the starch), will produce structural changes in the starch and subsequently, the reduction of their digestibility; whereas polyphenols that are found naturally in food act as enzyme inhibitors for α -amylase and amylglucosidase (He *et al.*, 2006).

DIETARY FIBER

In maize, dietary fiber is found in the pericarp and is primarily made up of arabinosylans, heterosylans, cellulose and phenolic acids, principally ferulic and diferulic acid (Carvajal-Millán *et al.*, 2007). Ferulic acid is the predominant phenolic compound in maize bran and is found bound to the cell wall (Fry, 1986). In pigmented maize grains, pigments have been found in the pericarp and in the aleuronic layer. The aleuronic layer of blue maize contains anthocyanin pigments, which gives its characteristic color. (Escalante-Aburto *et al.*, 2013). When whole-grain is used, the pigmented maize has the advantage of a material that can present antioxidant properties, which in recent years, has gained importance due to the effect that it can have on humans' health (this depends on the process of the maize grain before its consumption).

Arabinosylans are principally found on the cell wall of the endosperm, on the aleuronic layer and in the pericarp of the maize (Carvajal-Millán *et al.*, 2007). These compounds generate great interest due to their nutraceutical properties and the classification as a soluble fiber contributes to the control of diabetes and cardiovascular diseases. The effects of arabinosylans on these illnesses are

es debido a que incrementan la absorción de minerales y mejoran la función del colon lo cual disminuye el riesgo de padecer cáncer colorectal (Saedd *et al.*, 2011). Además, los arabinosilanos contribuyen en el transporte de compuestos fenólicos (ácido ferúlico y cúmarico) y oligómeros al colon, presentando características antioxidantes con potenciales beneficios a la salud (Vitaglione *et al.*, 2008).

En México, la nixtamalización es el principal proceso de transformación del maíz para su consumo. La cocción alcalina y el remojo en este proceso, provocan la disolución y el hinchamiento de las capas del pericarpio, esto hace que las paredes celulares de los componentes de la fibra dietética de esta parte del grano se vuelvan frágiles, facilitando su remoción, lo cual disminuye el contenido de fibra dietética insoluble (Paredes-López *et al.*, 2006). El proceso de nixtamalización de los maíces pigmentados afecta las antocianinas, ya que se reduce significativamente su contenido, lo cual se debe a que gran cantidad de estos compuestos se degradan por el pH alcalino y temperaturas altas. Además, otras estructuras químicas derivadas de los polifenoles son afectadas por el rompimiento de enlaces éster, y como consecuencia se liberan fenoles a la solución de cocimiento, La mayor parte de estos compuestos se encuentran en el pericarpio del grano y son eliminados durante el lavado del nixtamal (De la Parra *et al.*, 2007; Escalante-Aburto *et al.*, 2013). Es este sentido, se ha propuesto nuevos métodos de nixtamalización como la fraccionada y la extrusión, que en maíces pigmentados, han mostrado retener mayor cantidad de antocianinas (de 38 a 58 %) en los productos desarrollados con estas tecnologías. Además, durante el procesamiento se forman diferentes compuestos o se aumenta el contenido de algunos ya existentes, lo que cambia el perfil de antocianinas (Escalante-Aburto *et al.*, 2013).

INTERACCIÓN DE CARBOHIDRATOS Y ANTOCIANINAS: ASPECTOS NUTRACÉUTICOS

El uso de maíces pigmentados ha tenido un incremento significativo para el desarrollo de alimentos con carácter funcional como tortillas (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006; de la Parra *et al.*, 2007; Del Pozo-Insfran *et al.*, 2007, Mora-Rochin *et al.*, 2010; Aguayo-Rojas *et al.*, 2012), galletas (Utrilla-Coello *et al.*, 2011) y botanas (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006,

due to the increase in the absorption of minerals and the improvement of colon function; and they decreases the risk of colorectal cancer (Saedd *et al.*, 2011). Furthermore, arabinosylans contribute to transporting of phenolic compounds (ferulic and coumaric acid) and oligomers to the colon, presenting antioxidant characteristics with potential health benefits (Vitaglione *et al.*, 2008).

In Mexico, nixtamalization is the principal way that maize is transformed for consumption. The alkaline cooking and the soaking that is involved in this process, provokes the dissolution and swelling of the pericarp layers. This makes the cell walls of the dietary fiber components of this part of the grain turn fragile, facilitating their soaking, which reduces the content of insoluble dietary fiber (Paredes-López *et al.*, 2006). The nixtamalization process of pigmented maize affects anthocyanins, since it significantly reduces its content, which is because large quantities of these compounds degrade due to the alkaline pH and high temperature. Furthermore, other chemical structures derived from polyphenols are affected by the rupture of ester bonds and subsequently, phenols are liberated into the cooking solution. The majority of these compounds is found in the pericarp of the grain and is eliminated during the washing of the nixtamal (De la Parra *et al.*, 2007; Escalante-Aburto *et al.*, 2013). In this sense, new nixtamalization methods like fractioning and extrusion have been proposed, which in the case of pigmented maize has shown to retain a greater amount of anthocyanins (from 38 to 58 %) in products developed with these technologies. Additionally, during the processing, different compounds are formed or the content of the existing compounds is increased, which changes the profile of anthocyanins (Escalante-Aburto *et al.*, 2013).

INTERACTION OF CARBOHYDRATES AND ANTHOCYANINS: NUTRACEUTICAL ASPECTS

The use of pigmented maize has significantly increased for the development of foods with functional character like tortillas (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006; de la Parra *et al.*, 2007; Del Pozo-Insfran *et al.*, 2007, Mora-Rochin *et al.*, 2010; Aguayo-Rojas *et al.*, 2012), cookies (Utrilla-Coello *et al.*, 2011) and snacks (Del Pozo-Insfran *et al.*, 2006, 2007),

2007), debido a su contenido de antocianinas y carbohidratos indigeribles. Sin embargo, hay pocos estudios que evalúen la interacción de los carbohidratos (polisacáridos amiláceos y no amiláceos) y las antocianinas en los alimentos, así como su efecto en la salud de los consumidores.

Los polisacáridos no amiláceos (fibra dietética) tienen una función esencial en la salud intestinal y estaría asociada de forma significativa con una reducción del colesterol y respuesta glucémica. Además, los compuestos fenólicos tienen propiedades antioxidantes e inhibidores de radicales libres que protegen contra el daño oxidativo a las células (Quiros-Sauceda *et al.*, 2014). Estas propiedades están asociadas con la estructura química de los compuestos fenólicos, que determinan sus propiedades fisiológicas y nutricionales, lo cual se debe considerar durante el desarrollo de alimentos nutraceuticos (Figura 1).

Los compuestos fenólicos, incluyendo las antocianinas, afectan la digestibilidad del almidón y la respuesta postprandial de la glucosa, al interferir con las enzimas digestivas (Lo Piparo *et al.*, 2008; Barros *et al.*, 2012, 2014; Miao *et al.*, 2014) y con el transportador de glucosa en el borde de cepillo intestinal (Hanhineva *et al.*, 2010); así como en las propiedades nutricionales inducidas por las interacciones no covalentes entre los flavonoides (poliméricos o monoméricos) y el almidón (Bordenave *et al.*, 2014). En estudios realizados con alimentos que contenían compuestos fenólicos y carbohidratos, se observó que el contenido de AR aumentó cuando había mayor concentración de compuestos fenólicos (Barros *et al.*, 2012). Este aumento en el contenido de AR disminuía la cantidad de almidón que se digería y también la velocidad con la cual el almidón era digerido; esto significa que el almidón se digería más lentamente. La digestión lenta del almidón se ha asociado con efectos benéficos a la salud como el control de la saciedad y el consumo más espaciado de los alimentos. Además, los compuestos fenólicos tuvieron un efecto sobre la digestibilidad del almidón *in vitro* (Deshpande y Salunke, 2006; Barros *et al.*, 2012) e *in vivo* (Yoon *et al.*, 1983), y una disminución de la respuesta glucémica *in vivo* (Kim *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2011; Rojo *et al.*, 2012; Wedick *et al.*, 2012).

El efecto de los carbohidratos de digestión lenta y un alto contenido de fibra dietética en el desarrollo de productos funcionales ha sido reportado (Ovando-Martínez *et al.*, 2009, Gallegos-Infante *et al.*, 2010a,

due to its content of anthocyanins and indigestible carbohydrates. However, there are very few studies that evaluate the interaction between carbohydrates (starch and non-starch polysaccharides) and anthocyanins in food, as well as their effect on the health of consumers.

Non-starch polysaccharides (dietary fiber) have an essential function in intestinal health and could be significantly associated with cholesterol reduction and a glycemic response. Additionally, phenolic compounds have antioxidant properties and free radical inhibitors that protect against oxidative damage to cells (Quiros-Sauceda *et al.*, 2014). These properties are associated with the chemical structure of phenolic compounds, which determines their physiological and nutritional properties and should be considered during the development of nutraceutical foods. (Figure 1).

Phenolic compounds, including anthocyanins, affect the digestibility of starch and the postprandial response of glucose by interfering with digestive enzymes (Lo Piparo *et al.*, 2008; Barros *et al.*, 2012, 2014; Miao *et al.*, 2014) and the transportation of glucose in the wall of intestinal brush (Hanhineva *et al.*, 2010), as well as in nutritional properties induced by the non-covalent interactions between flavonoids (polymeric or monomeric) and starch (Bordenave *et al.*, 2014). In studies carried out with foods that contain phenolic compounds and carbohydrates, the content of the RS was observed to have increased when there was greater concentration of phenolic compounds (Barros *et al.*, 2012). This increase in the RS content reduced the amount of starch digested as well as the rate with which it was digested, which means that the starch was digested slowly. Slow digestion of starch has been associated with beneficial health effects like the control of hunger and more evenly spaced consumption. Additionally, phenolic compounds had an effect on the *in vitro* digestibility of starch (Deshpande y Salunke, 2006; Barros *et al.*, 2012) and *in vivo* (Yoon *et al.*, 1983), as well as the reduction in the *in vivo* glycemic response (Kim *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2011; Rojo *et al.*, 2012; Wedick *et al.*, 2012).

The effect of slow digesting carbohydrates and the high dietary fiber content in the development of functional products has been reported (Ovando-Martínez *et al.*, 2009, Gallegos-Infante *et al.*, 2010a, 2010b; Khan *et al.*, 2013; Sun-Waterhouse *et al.*,

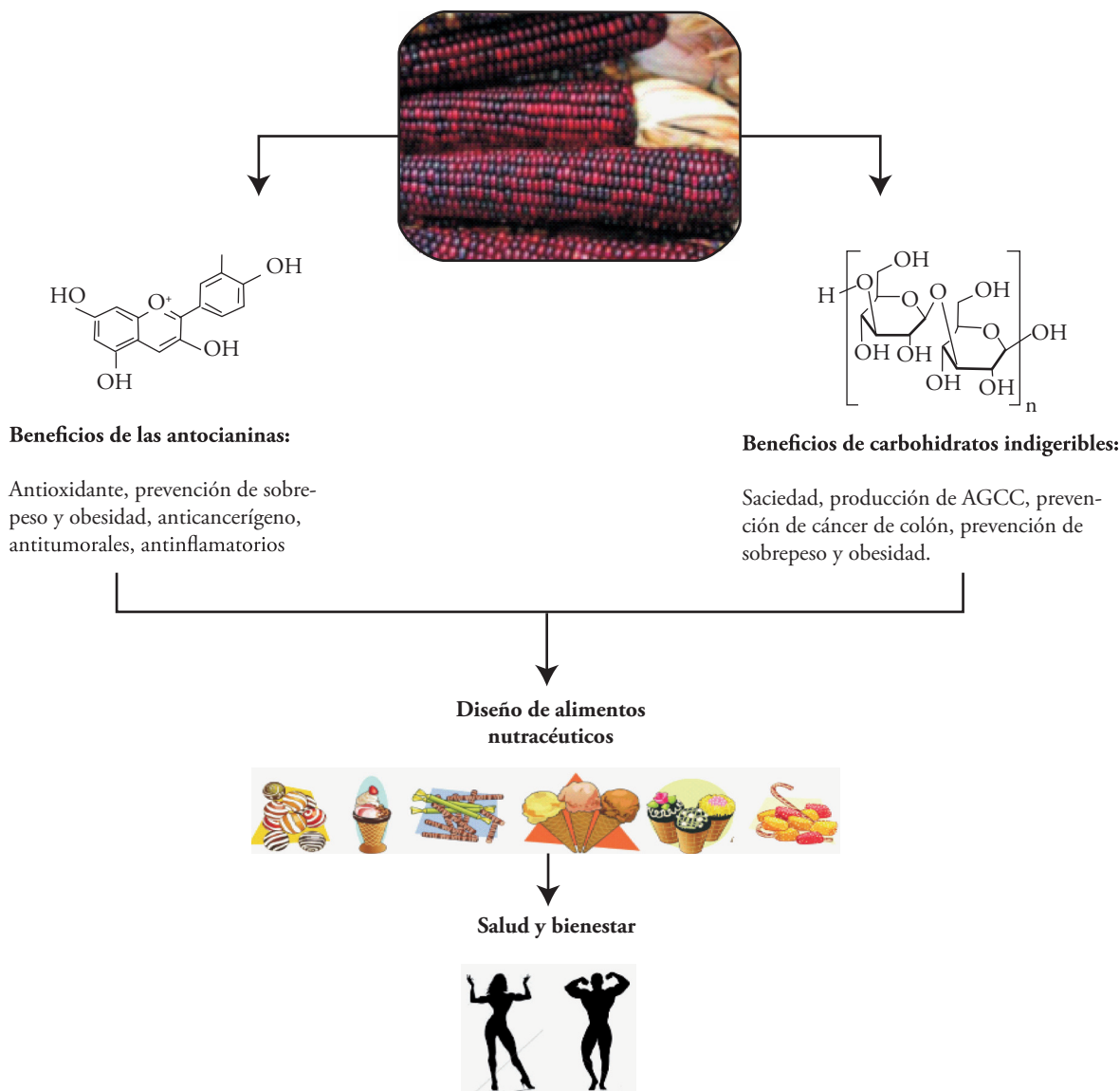


Figura 1. Efecto de las antocianinas y carbohidratos indigeribles para el desarrollo de alimentos nutraceuticos.
Figure 1. Effect of indigestible anthocyanins and carbohydrates for the development of nutraceutical foods.

2010b; Khan *et al.*, 2013; Sun-Waterhouse *et al.*, 2013), así como el efecto de los compuestos fenólicos en la salud humana (Saura-Calixto, 2012; Wedick *et al.*, 2012). Sin embargo, los aspectos físico-químicos, sensoriales y nutricionales de la interacción entre los carbohidratos y las antocianinas y su efecto sobre la salud, aún no están del todo claros. En el caso de alimentos elaborados con maíces pigmentados donde se evalúe la interacción polisacáridos y antocianinas, y su efecto en las propiedades funcionales, sensoriales y nutricionales (efecto benéfico en la salud de los consumidores), requiere más investigación.

2013), as well as how phenolic compounds affect human health (Saura-Calixto, 2012; Wedick *et al.*, 2012). However, the physiochemical, sensorial and nutritional aspects of the interaction between carbohydrates and anthocyanins and their effect on human health is still not completely clear. In the case of food elaborated with pigmented maize, the interaction between polysaccharides and anthocyanins is evaluated and its effect on the functional, sensorial and nutritional (beneficial effect on the health of its consumers) properties, requires more research.

PERSPECTIVAS

El desarrollo de alimentos nutraceuticos es un área prioritaria para la industria de alimentos, sobre todo por el interés de tener alimentos saludables que ayuden a la prevención de enfermedades crónico-degenerativas. El sobrepeso y la obesidad son dos factores de riesgo importante para el desarrollo de dichas enfermedades como la diabetes, presión arterial alta y enfermedades cardiovasculares. Los maíces pigmentados, que se cultivan alrededor del mundo, han sido poco utilizados, ya que los maíces blancos y el amarillo son los comúnmente consumidos. La presencia de antocianinas en los maíces con tonalidades desde la negra hasta la roja, los sitúa como materias primas factibles para la elaboración de alimentos nutraceuticos como tortillas, cereales para el desayuno, botanas y pastas. Las interacciones que se produzcan entre las antocianinas y los polisacáridos presentes en los alimentos elaborados con los maíces pigmentados, y su impacto en la digestión del almidón, ayudaría a entender el aporte nutraceutico de estos productos y avanzar en el conocimiento de la relación estructura-función de dichas interacciones.

CONCLUSIONES

El maíz es el cereal básico de la alimentación de México y otros países. El uso de los maíces pigmentados para el desarrollo de alimentos ha sido poco en comparación con los maíces blancos y amarillo. Las antocianinas en los maíces pigmentados tienen un efecto antioxidante y pueden interactuar con los polisacáridos (almidón y fibra dietética), lo cual limitaría la velocidad de digestión del almidón y por lo tanto del aporte de glucosa hacia la sangre después de su consumo. Los estudios realizados señalan algunas evidencias del efecto benéfico que pudiera tener el consumo de alimentos elaborados con maíces pigmentados, pero se requieren más investigaciones. Entender las interacciones antocianinas-polisacáridos en los alimentos elaborados con maíces pigmentados ayudaría al desarrollo de alimentos nutraceuticos con mejor impacto en la prevención de enfermedades como el sobrepeso y la obesidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de COFAA-IPN, EDI-IPN y SIP-IPN.

PERSPECTIVES

The development of nutraceutical foods is a priority for the food industry, especially because of the interest in having healthy food that can help to prevent chronic-degenerative illnesses. Excess weight and obesity are two important risk factors for the development of those diseases, such as diabetes, high arterial pressure and cardiovascular diseases. Pigmented maize, which is cultivated around the world, has been underutilized, as white and yellow maize are more commonly consumed. The presence of anthocyanins in maize with shades ranging from black to red, makes maize a feasible raw material for the elaboration of nutraceutical foods like tortillas, breakfast cereals, snacks, and pastas. The interactions that are produced between anthocyanins and polysaccharides present in foods elaborated with pigmented maize and the impact on the digestion of starch, would help to understand the nutraceutical contribution of these products and advance the knowledge of the structural-functional relationship of said interactions.

CONCLUSIONS

Maize is a fundamental cereal in the diet of Mexico and in other countries. The use of pigmented maize in the development of food has been minimal when compared to white and yellow maize. Anthocyanins in pigmented maize have an antioxidant effect and can interact with polysaccharides (starch and dietary fiber), which limit the digestion of starch, and as such, the contribution of glucose into the bloodstream after consumption. Research has shown some beneficial effects on consumption of pigmented maize, but more studies must be done. Understanding the anthocyanin-polysaccharide interactions in foods elaborated with pigmented maize would aid in the development of nutraceutical foods, with a greater impact on the prevention of sicknesses like excess weight and obesity.

—End of the English version—

---*---

LITERATURA CITADA

- Abdel-Aal, E-S. M., J. C. Young, and I. Rabalski. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. *J. Agric. Food Chem.* 54:4696-4704.
- Agama-Acevedo, E., M. A. Otthenhof, I. A. Farhat, O. Paredes-López, J. Ortiz-Cereceres, and L. A. Bello-Pérez. 2004. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia* 29:643-649.
- Agama-Acevedo, E., R. Rendón-Villalobos, J. Tovar, S. R. Trejo-Estrada, and L. A. Bello-Pérez. 2005. Effect of storage time on *in vitro* digestion rate and resistant starch content of tortillas elaborated from commercial corn masas. *Arch. Latinoam. Nutr.* 55:86-92.
- Agama-Acevedo, E., A.P. Barba D. L. R., G. Mendez-Montealvo., and L.A. Bello-Pérez. 2008. Physicochemical and biochemical characterization of starch granule isolated from pigmented maize hybrids. *Starch/Starke* 60: 433-441.
- Agama-Acevedo, E., Y. Salinas-Moreno, G. Pacheco-Vargas, y L. A. Bello-Pérez. 2011. Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 2:317-329.
- Agama-Acevedo, E., E. Juárez-García, S. Evangelista-Lozano, O. L. Rosales-Reynoso, y L. A. Bello-Pérez. 2013. Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia* 47:1-12.
- Aguayo-Rojas, J., S. Mora-Rochín, E. O. Cuevas-Rodríguez, S. O. Serna-Saldivar, J. A. Gutierrez-Urbe, C. Reyes-Moreno, and J. Milán-Carrillo. 2012. Phytochemicals and antioxidant capacity of tortillas obtained after lime-cooking extrusion process of whole pigmented Mexican maize. *Plant Foods Human Nutr.* 67:178-185.
- Aoki, H., N. Kuze, and Y. Kato. 2002. Anthocyanins isolated from purple corn (*Zea mays* L.). *Foods Food Ingred. J. Jpn.* 199:41-45.
- Barros, F., J.M. Awika, and L.W. Rooney. 2012. Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on *in vitro* starch digestibility. *J. Agric. Food Chem.* 60: 11609-11617.
- Bello-Perez, L.A., P.C. Flores-Silva, G. A. Camelo-Méndez, O. Paredes-López, and J. D. C. Figueroa. 2015. Effect of the nixtamalization process on the dietary fiber content, starch digestibility and antioxidant capacity of blue maize tortilla. *Cereal Chem.* 92: 265-270.
- Biliaderis, C. G. 1991. The structure and interactions of starch with food constituents. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 69:60-78.
- Bordenave, N., B. R. Hamaker, and M. G. Ferruzzi. 2014. Nature and consequences of non-covalent interactions between flavonoids and macronutrients in foods. *Food Funct.* 5: 18-34.
- Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28:25-30.
- Brennan, C. S. 2005. Dietary fibre, glycaemic response, and diabetes. *Mol. Nutr. Food Res.* 49: 560-570.
- Caldwell, E. E. O., and P. A. Peterson. 1992. HPLC identification of anthocyanins in maize endosperm. *Maize Genet. Coop News* 66: 2.
- Carrera, Y., R. Utrilla-Coello, A. Bello-Pérez, J. Alvarez-Ramirez, and E. J. Vernon-Carter. 2015. *In vitro* digestibility, crystallinity, rheological, thermal, particle size and morphological characteristics of pinole, a traditional energy food obtained from toasted ground maize. *Carbohydr. Polym.* 123: 246-255.
- Carvajal-Millan, E., A. Rascón-Chu, J. Márquez-Escalante, N. Ponce de León, V. Micard, and A. Gardea. 2007. Maize bran gum: Characterization and functional properties. *Carbohydr. Polym.* 69: 280-285.
- Cortés, G. A., M. Y. Salinas, E. San Martín-Martínez, and F. Matínez-Bustos. 2006. Stability of anthocyanins of blue maize (*Zea mays* L.) after nixtamalization of separated pericarp-germ tip cap and endosperm fractions. *J. Cereal Sci.* 43:57-62.
- Cui, L., G. Rongqi, D. Shuting, J. Zhang, L. Peng, H. Zhang, J. Meng, and D. Shi. 2012. Effects of ear shading on the anthocyanin contents and quality of kernels in various genotypes of maize. *Aust. J. Crop Sci.* 4:704-710.
- Cummings, J. H., E. R. Beatty, S. M. Kingman, S. A. Bingham, and H. N. Englyst. 1996. Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel. *Br. J. Nutr.* 75: 733-747.
- De la Parra, C., S. O. Serna-Saldivar, and R. H. Liu. 2007. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem.* 55: 4177-4183
- De La Rosa-Millán, J., E. Agama-Acevedo, A.R. Jiménez-Aparicio, and L.A. Bello-Pérez. 2010. Starch characterization of different blue maize varieties. *Starch-Starke* 62: 549-557.
- Del Pozo-Insfran, D., C.H. Brenes, S. O. Serna-Saldivar, and S. T. Talcott. 2006. Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Res. Int.* 39: 696-703
- Del Pozo-Insfran D., S. O. Serna-Saldivar, C.H. Brenes, and S. T. Talcott. 2007. Polyphenolics and antioxidant capacity of white and blue corns processed into tortillas and chips. *Cereal Chem.* 84: 162-168
- Deshpande, S. S., and D. K. Salunke. 1982. Interactions of tannic acid and catechin with legume starches. *J. Food Sci.* 47: 2080-2081.
- Ells, L. J., C. J. Seal., B. Kettlitz., W. Bal and, J. C. Mathers. 2005. Postprandial glycaemic, lipaemic and haemostatic responses to ingestion of rapidly and slowly digested starches in healthy young women. *Br. J. Nutr.* 94: 948-955
- Englyst, H., S. Kigman, and J. Cummings. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: S33-S50
- Escalante-Aburto, A., B. Ramírez-Wong, P. Torres-Chávez, J. M. Barrón-Hoyos, J. D. Figueroa-Cárdenas, and J. López-Cervantes. 2013. La nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas maíces pigmentados, una revisión. *Rev. Fitotec. Mex.* 36:429-437.
- Escribano-Bailón, M. T., C. Santos-Buelga., and J. C. Rivas-Gonzalo. 2004. Anthocyanins in cereals. *J. Chromatogr. A.* 1054: 128-141.
- Espinosa-Trujillo, E., M. C. Mendoza-Castillo, F. Castillo-González, J. Ortiz-Cereceres, A. Delgado-Alvarado, and A. Carrillo-Salazar. 2009. Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en

- poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Rev. Fitotec. Mex.* 32:303-309.
- FAO. 2012. Food and Agriculture Organization. FAOSTAT Base de Datos Estadísticos. El maíz en los trópicos. <http://faostat.fao.org>. (Acceded: February 2016)
- FAO. 2015. Food and Agriculture Organization. FAOSTAT Base de Datos Estadísticos. El maíz en la nutrición humana. <http://faostat.fao.org>. (Acceded: February 2016)
- Figueroa C. J. D., R. A. Mauricio, S. Taba, E. Morales, A. Mendoza-Gaytán, F. Rincón-Sánchez, L. M. Reyes, and J. J. Vélez. 2005. Kernel characteristics and tortilla making quality of maize accessions from Mexico, the Caribbean, and South and Central America. *In: Proceedings of a Workshop held at CIMMYT, April 7-10 April.* México, D.F. pp: 71.
- Fry, S. C. 1986. Cross-linking of matrix polymers in the growing cell walls of angiosperms. *Annu Rev. Plant Physiol.* 37:165-186.
- Gallegos-Infante, J. A., L. A. Bello-Perez, N. E. Rocha-Guzman, R. F. Gonzalez-Laredo, and M. Avila-Ontiveros. 2010a. Effect of the addition of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour on the *in vitro* digestibility of starch and undigestible carbohydrates in spaghetti. *J. Food Sci.* 75: 151-156
- Gallegos-Infante, J. A., N. E. Rocha-Guzman, R. F. Gonzalez-Laredo, L. A. Ochoa-Martínez, N. Corzo, L. A. Bello-Perez, L. Medina-Torres, and L. E. Peralta-Alvarez. 2010b. Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.* 119: 1544-1549
- Gross, J. 1987. *Pigments in Fruits.* Academic Press. New York. 303 p.
- Gutiérrez-Urbe, J. A., C. Rojas-García, S. García-Lara, and S. O. Serna-Saldivar. 2010. Phytochemical analysis of wastewater (nejayote) obtained after lime-cooking of different types of maize kernels processed into masa for tortillas. *J. Cereal Sci.* 52: 410-416
- Hagiwara, A., K. Miyashita, T. Nakanishi, M. Sano, S. Tamano, T. Kadota, T. Koda, M. Nakamura, K. Imaida, N. Ito, and T. Shirai. 2001. Pronounced inhibition by a natural anthocyanin, purple corn color, of 2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine (PhIP)-associated colorectal carcinogenesis in male F344 rats pretreated with 1,2-dimethylhydrazine. *Cancer Lett.* 171: 17-25.
- Hanhineva, K., R. Törrönen, I. Bondia-Pons, J. Pekkinen, M. Kolehmainen, H. Mykkänen, and K. Poutanen. 2010. Impact of dietary polyphenols on carbohydrate metabolism. *Int. J. Mol. Sci.* 11: 1365-402.
- He, Q., Y. Lv, and K. Yao. 2006. Effects of tea polyphenols on activities of amylase, pepsin, trypsin and lipase. *Food Chem.* 101: 1178-1182.
- Hernández-Urbe- J. P., E. Agama-Acevedo, J. J. Islas-Hernández, J. Tovar, and L.A. Bello-Pérez. 2007. Chemical composition and *in vitro* starch digestibility of pigmented corn tortilla. *J. Sci. Food Agric.* 87: 2482-2487.
- Inglett, E. 1970. Kernel structure, composition and quality. *In: Inglett, E. G. (ed). Corn: Culture, Processing, Products.* The Avi publishing Co., Inc., USA. pp: 123-124.
- Jane, J. L. 2006. Current understanding on starch granule structures. *Jpn. Soc. Applied Glycosci.* 53: 205-213.
- Jing, P., J. A. Bomser, S. J. Schwartz, J. He, B. A. Magnuson, and M. M. Giusti. 2008. Structure-function relationships of anthocyanins from various anthocyanin-rich extracts on the inhibition of colon cancer cell growth. *J. Agric. Food Chem.* 56: 9391-9398.
- Kato, T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos, and R. A. Bye. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. D. F. 116 p.
- Keleman, A., and J. Hellin. 2009. Specialty maize varieties in Mexico: A case study in market-driven agro-biodiversity conservation. *J. Lat. Am. Geogr.* 8:147-174.
- Khan, I., A. Yousif, S. K. Johnson, and S. Gamlath. 2013. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Res. Int.* 54: 578-586
- Kim, J. H., M. J. Kang, H. N. Choi, S. M. Jeong, Y. M. Lee, and J. I. Kim. 2011. Quercetin attenuates fasting and postprandial hyperglycemia in animal models of diabetes mellitus. *Nutr. Res. Pract.* 5: 107-111
- Kritchevsky, D. 1995. Epidemiology of fibre resistant starch and colorectal cancer. *Eur. J. Cancer Prev.* 4: 345-352.
- Li, J., S. S. Lim, J. Y. Lee, J. K. Kim, S. W. Kang, J. L. Kim, and Y. H. Kang. 2012. Purple corn anthocyanins dampened high-glucose-induced mesangial fibrosis and inflammation: possible renoprotective role in diabetic nephropathy. *J. Nutr. Biochem.* 23: 320-331.
- Liu, J., M. Wang, S. Peng, and G. Zhang. 2011. Effect of green tea catechins on the postprandial glycemic response to starches differing in amylose content. *J. Agr. Food Chem.* 59: 4582-4588.
- Lo Piparo, E., H. Scheib, N. Frei, G. Williamson, M. Grigorov, and C. J. Chou. 2008. Flavonoids for controlling starch digestion: structural requirements for inhibiting human α -amylase. *J. Med. Chem.* 51: 3555-3561.
- López-Martínez, L. X., K. L. Parkin, and H. S. García. 2011. Phase II-inducing, polyphenols content and antioxidant capacity of corn (*Zea mays* L.) from phenotypes of white, blue, red and purple colors processed into masa and tortillas. *Plant Foods Hum. Nutr.* 66: 41- 47.
- Lopez-Martinez, L. X., R. M. Oliart-Ros, G. Valerio-Alfaro, L. Chen-Hsien, K. L. Parkin, H. S. Garcia. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Sci. Tech.* 42: 1187-1192
- Ludwin, D. S. 2002. The glycemic index: Physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease. *JAMA* 287: 2414-2423
- Mendoza-Díaz, S., M. C. Ortiz-Valerio, E. Castaño-Tostado, J. D. Figueroa- Cárdenas, R. Reynoso-Camacho, M. Ramos-Gómez, R. Campos-Vega, and G. F. Loarca-Piña. 2012. Antioxidant capacity and antimutagenic activity of anthocyanin and carotenoid extracts from nixtamalized pigmented creole maize races (*Zea mays* L.). *Plant Food Hum. Nutr.* 67:442-449.
- Miao, M., H. Jiang, B. Jiang, T. Zhang, S. W. Cui, and Z. Jin. 2014. Phytonutrients for controlling starch digestion: Evaluation of grape skin extract. *Food Chem.* 145: 205-211.
- Mkandawire, N. L., R. C. Kaufman, S. R. Bean, C. L. Weller, D. J. Jackson, and J. Rose. 2013. Effects of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tannins on α amylase activity and *in vitro* digestibility of starch in raw and processed flours. *J. Agric. Food Chem.* 61: 4448-4454.

- Montilla C. E., S. Hillebrand, A. Antezana, and P. Winterhalter. 2011. Soluble and bound phenolic compounds in different Bolivian purple corn (*Zea mays* L.) cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 59: 7068-7074.
- Mora-Rochin, S., J. A. Gutiérrez-Urbe, S. O. Serna-Saldivar, P. Sánchez-Peña, C. Reyes-Moreno, and J. Milán-Carrillo. 2010. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *J. Cereal Sci.* 52: 502-508
- Muir, J. G., G. P. Young, and K. O'Dea. 1994. Resistant starch - implications for health. *Proc. Nutr. Soc. Austr.* 18: 23-32.
- Osorio-Díaz, P., E. Agama-Acevedo, L. A. Bello-Pérez, J. J. Islas-Hernández, N. O. Gómez-Montiel, and O. Paredes-López. 2011. Effect of endosperm type on texture and *in vitro* starch digestibility of maize tortilla. *LWT-Food Sci. Technol.* 44: 611-615
- Ovando-Martínez, M., S. Sáyo-Ayerdi, E. Agama-Acevedo, I. Goñi, L. A. Bello-Pérez. 2009. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chem.* 113: 121-126
- Paredes-López, O., F. Guevara-Lara, and L. A. Bello-Pérez. 2006. Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas Mesoamericanas. Fondo de Cultura Económica, México. pp: 205
- Quirós-Sauceda, A. E., H. Palafox-Carlos, S. G. Sáyo-Ayerdi, J. F. Ayala-Zavala, L. A. Bello-Pérez, E. Alvarez-Parrilla, L. A. de la Rosa, A. F. González-Córdova, G. A. González-Aguilar. 2014. Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestion. *Food Funct.* 5:1063-1072
- Ramos-Escudero, F., A. M. Muñoz, C. Alvarado-Ortiz, A. Alvarado, and J. A. Yáñez. 2012. Purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds profile and its assessment as an agent against oxidative stress in isolated mouse organs. *J. Med. Food* 15:206-215.
- Rojas, L. E., D. Ribnicky, S. Logendra, A. Poulev, P. Rojas-Silva, P. Kuhn, R. Dorn, M. H. Grace, M. A. Lila, and I. Raskin. 2012. *In vitro* and *in vivo* anti-diabetic effects of anthocyanins from Maqui Berry (*Aristotelia chilensis*). *Food Chem.* 131:387-96.
- Rooney, L., and S. O. Serna-Saldivar. 2003. Food use of whole corn and dry milled fractions. *In: White, J. P. and Johnson L. A. (eds). Corn Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. 2nd Ed. St Paul, MN, USA. pp: 495-535.*
- Ruiz, N. A., F. Rincón Sánchez, V. M. Hernández-López, J. D. Figueroa Cárdenas, y M. G. F. Loarca Piña. 2008. Determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante en granos de maíz. *Rev Fitotec Mex* 31:29-31.
- Saeed, F., I. Pasha, F. M. Anjum, and M. T. Sultan. 2011. Arabinoxylans and arabinogalactans: a comprehensive treatise. *J. Food Sci. Nutr.* 51:467-476.
- Salinas, M. Y., M. Soto H, F. Martínez, B. V. González H, y R. Ortega P. 1999. Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Rev. Fitotec. Mex.* 22:161-174.
- Salinas-Moreno, Y., F. Martínez-Bustos, M. Soto-Hernández, R. Ortega-Paczk, y J. L. Arellano-Vázquez. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas de granos pigmentados. *Agrociencia* 37:617-628.
- Salinas, M. Y. 2009. Uso de maíces con pigmento tipo antociano. *In: De Teresa-Ochoa, A. P., y G. Viniegra-González. (comps). Temas Selectos de la Cadena Maíz-Tortilla: Un Enfoque Multidisciplinario. Universidad Autónoma Metropolitana. pp: 177-202.*
- Salinas, M. Y., J. Soria R., y E. T. Espinosa. 2010. Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. *Folleto Técnico 42. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. SAGARPA, INIFAP. pp: 50.*
- Salinas-Moreno, Y., F. J. Cruz-Chávez, S. A. Díaz-Ortiz, y F. Castillo-González. 2012a. Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Rev. Fitotec Mex.* 35: 33-41.
- Salinas-Moreno, Y., J. J. Pérez-Alonso, G. Vázquez-Carrillo, F. Aragón-Cuevas, y G. A. Velázquez-Cardelas. 2012b. Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, Elotes Cónicos y Bolita. *Agrociencia* 47: 815-825.
- Salinas-Moreno, Y., F. A. Cuevas, C. Y. Moncada, J. A. Villarreal, B.A. López, y Y. E. S. Montes. 2013. Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Rev. Fitotec Mex.* 36(1): 23-31.
- Salinas-Moreno, Y., C. García-Salinas, B. Coutiño-Estrada, y V. A. Vidal-Martínez. 2013. Variabilidad en contenido tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 36:185-294.
- Sánchez, J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54: 43-59.
- Saura-Calixto F. 2012. Concept and health-related properties of nonextractable polyphenols: the missing dietary polyphenols. *J. Agric. Food Chem.* 60: 11195-11200.
- Seal, C. J., M. E. Daly, L. C. Thomas, W. Ball, A. M. Birkett, and R. Jeffcoat. 2003. Postprandial carbohydrates metabolism in healthy subjects and those with type 2 diabetes with a slow and rapid hydrolysis rate determined *in vitro*. *Br. J. Nutr.* 90: 853-864.
- Serna-Saldivar, S.O. 2010. Physical properties, grading, and specialty grains: *In: Cereal Grains Properties, Processing and Nutritional Attributes. CRC Press. Boca Raton FL. 752 p.*
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2013. Estadística Básica Agrícola, Anuario 2013. www.siap.gob.mx (Consulta: Agosto 2013).
- Singh, N, S. Singh, and K. Shevkani. 2011. Maize: Composition, bioactive constituents, and unleavened bread. *In: Preedy, V. J., W. R. Ross, and P. V. Patel (eds). Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention. Elsevier Inc. California, USA. pp: 89-95.*
- Strack, D, and V. Wray. 1989. Anthocyanins. *In: Harbone H. B. (ed). Methods in Plant Biochemistry, Plant Phenolics. Academic Press, New York. pp: 325-356.*
- Sun-Waterhouse, D, D. Jin, and G. I. N. Waterhouse. 2013. Effect of adding elderberry juice concentrate on the quality attributes, polyphenol contents and antioxidant activity of three fibre-enriched pastas. *Food. Res. Int.* 54: 781-789
- Urias-Lugo, D. A., J. B. Heredia, M. D. Muy-Rangel, J. B. Valdez-Torres, S. O. Serna-Saldivar, and J.A. Gutiérrez-Urbe. 2015. Anthocyanins and phenolic acids of hybrid and native blue maize (*Zea mays* L.) extracts and their antiproliferative

- activity in mammary (MCF7), liver (HepG2), colon (Caco2 and HT29) and prostate (PC3) Cancer Cells. *Plant Foods Hum. Nutr.* 70:193-199.
- Urias-Peraldi, M., J. A. Gutiérrez-Utibe, R. E. Preciado-Ortiz, A. S. Cruz-Morales, S. O. Serna-Saldívar, and S. García-Lara, S. 2013. Nutraceutical profiles of improved blue maize (*Zea mays*) hybrids for subtropical regions. *Field Crops Res.* 141: 69-76.
- Vitaglione, P., A. Napolitano, V. and Fogliano. 2008. Cereal dietary fibre: A natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends Food Sci. Tech.* 19: 451-463
- Utrilla-Coello, R. G., E. Agama-Acevedo, A. P. Barba de la Rosa, J. L. Martínez-Salgado, S. L. Rodríguez-Ambriz, and L. A. Bello-Pérez, 2009. Blue maize: Morphology and starch synthase characterization of starch granule. *Plant Foods Hum. Nutr.* 64: 18-24.
- Utrilla-Coello, R. G., E. Agama-Acevedo, A. P. Barba de la Rosa, S. L. Rodríguez-Ambriz, and L. A. Bello-Pérez. 2010. Physicochemical and enzyme characterization of small and large starch granules isolated from two maize cultivars. *Cereal Chem.* 1:50-56.
- Utrilla-Coello, R.G., E. Agama-Acevedo, P. Osorio-Díaz, J. Tovar, and L.A. Bello-Pérez. 2011. Composition and starch digestibility of whole grain bars containing maize or unripe banana flours. *Starch – Stärke* 63:416-423
- Wedick N.M., A. Pan, A. Cassidy, E. B. Rimm, L. Sampson, B. Rosner, W. Willett, F.B. Hu, Q. Sun, and R.M. van Dam. 2012. Dietary flavonoid intakes and risk of type 2 diabetes in US men and women. *Am. J. Clin. Nutr.* 95:925-933.
- Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández, y P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución. *In: Xolocotzia. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi. Revista de Geografía Agrícola. Tomo II Universidad Autónoma de Chapingo.* pp: 609-732.
- Yoon, J. H., L. U. Thompson, and D. J. A. Jenkins. 1983. The effect of phytic acid on *in vitro* rate of starch digestibility and blood glucose response. *Am. J. Clin. Nutr.* 38: 835-842.
- Yoshimoto, M., S. Okuno, T. Kumagi, M. Yoshinaga, and O. Yamakawa,. 1999. Distribution of antimutagenic components in colored sweet potatoes. *Jpn. Agr. Res. Q.* 33: 143-148.
- Zhao, X., M. Corrales, C. Zhang, X. Hu, Y. Ma, and B. Tauscher. 2008. Composition and thermal stability of anthocyanins from Chinese purple corn (*Zea mays* L.). *J. Agric. Food Chem.* 56: 10761-10766.
- Zhao, X, C. Zhang, C. Guigas, Y. Ma, M. Corrales, B. Tauscher, and X. Hu. 2009. Composition, antimicrobial activity and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. *Eur. Food Res. Technol.* 228:759-765.
- Zhu, Y, W. Ling, H. Guo, F. Song, Q. Ye, T. Zou, D. Li, Y. Zhang, G. Li, Y. Xiao, F. Liu, Z. Li, Z. Shi, and Y. Zhang 2013. Anti-inflammatory effect of purified dietary anthocyanins in adult with hypercholesterolemic: A randomized controlled trial. *Nutr. Metab. Cardiovas* 23:842-849.
- Zilic, S., A. Serpen, G. Akilloglu, V. Gökmen, and J. Vancetovic. 2012. Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *J. Agric. Food Chem.* 60:1224-1231.