

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y BIOACCESIBILIDAD
IN VITRO DE LA GLUCOSA Y β -CAROTENO
DE BONIATOS Y ZAPALLOS, DURANTE EL
ALMACENAMIENTO Y LA COCCIÓN**

por

Fernanda Isabel ZACCARI VEIGA

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Doctora en Ciencias Agrarias

MONTEVIDEO
URUGUAY
Diciembre 2017

Tesis aprobada por el tribunal con voz y voto integrado por la Dra. Milka Ferrer, Dra. Begoña De Ancos y Dr. Omar Borsani el 14 de diciembre de 2017.

Autor: Fernanda Isabel Zaccari Veiga.

Directora: Dra. Ing. Agr. María Cristina Cabrera Bascardal

Co-director: Dr. Ali Saadoun

Lugares:

Laboratorio de Calidad de Alimentos y Calidad de Productos, Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

Laboratorio de Poscosecha de Frutas y Hortalizas, Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

Dedico este trabajo a mis seres más queridos.

AGRADECIMIENTOS

“Gracias a la vida...”

Violeta Parra

..y gracias a la familia, amigos, colegas, becarios y estudiantes quienes han colaborado de diferentes formas para que este trabajo se hiciese realidad, en especial a Cristina Cabrera por su apoyo disponiendo recursos de sus proyectos de investigación y en particular por su permanente motivación para que finalizase esta etapa académica, quedando para siempre en mi memoria las mágicas palabras.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	IX
SUMMARY	X
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. LA GLUCOSA COMO NUTRIENTE	3
1.2. LOS CAROTENOIDES Y LA PROVITAMINA A	5
1.3. LA VITAMINA C	7
1.4. LA FIBRA DIETÉTICA EN FRUTAS Y HORTALIZAS	9
1.5. OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS – LOS POLIFENOLES	10
1.6. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FRUTAS Y HORTALIZAS	12
1.7. LA BIOACCESIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES EN UN ALIMENTO	13
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	16
2.1. CULTIVARES UTILIZADOS	16
2.2. INSTALACIÓN DEL ESTUDIO DE CONSERVACIÓN DE BONIATOS Y ZAPALLOS	18
2.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	18
2.4. CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE ALGUNOS NUTRIENTES	19
2.4.1. <u>Contenido total de glucosa</u>	19
2.4.2. <u>Contenido total de β-carotenos, α- carotenos y luteína y otros carotenoides</u>	20

2.4.2.1. Extracción del carotenoides en muestras crudas y cocidas.....	20
2.4.2.2. Cuantificación del contenido total de β -caroteno α -caroteno, luteína y otros carotenoides.....	20
2.4.3. <u>Contenido total de vitamina C</u>	21
2.4.4. <u>Fibra dietética total</u>	22
2.4.5. <u>Contenido de materia seca</u>	22
2.4.6. <u>Contenido de polifenoles totales</u>	22
2.4.7. <u>Capacidad antioxidante total</u>	23
2.5. BIOACCESIBILIDAD <i>IN VITRO</i> DE GLUCOSA Y β -CAROTENO.....	24
2.5.1. <u>Procedimiento experimental de la digestión <i>in vitro</i></u>	24
2.5.2. <u>Determinación del contenido de glucosa bioaccesible <i>in vitro</i> en el líquido de digestión</u>	25
2.5.3. <u>Determinación del contenido de β-caroteno bioaccesibles <i>in vitro</i></u>	25
2.5.3.1. Extracción de β -caroteno del líquido de digestión...	25
2.5.3.2. Cuantificación del contenido β -caroteno del líquido de digestión.....	26
2.6. PÉRDIDA DE NUTRIENTES POR LA COCCIÓN EN MICROONDAS.....	26
2.7. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO...	26
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	29
3.1. COMPOSICIÓN DE ALGUNOS NUTRIENTES, POLIFENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL EN LA PULPA COCIDA DE DIFERENTES CULTIVARES DE BONIATOS Y DE ZAPALLOS ALMACENADOS DURANTE SEIS MES.....	29
3.1.1. <u>Contenido de glucosa total en la pulpa cocida</u>	29

3.1.2. <u>Contenido total de β-carotenos α-carotenos, luteína y otros carotenoides en la pulpa cocida de boniatos y zapallos</u>	32
3.1.3. <u>Contenido de vitamina C en la pulpa cocida de cultivares de boniato y de zapallo</u>	40
3.1.4. <u>Contenido de fibra dietética en la pulpa cocida de cultivares de boniato y de zapallo</u>	43
3.1.5. <u>Contenido de polifenoles totales en la pulpa cocida</u>	45
3.1.6. <u>Capacidad antioxidante total de la pulpa cocida</u>	47
3.2. BIOACCESIBILIDAD <i>IN VITRO</i> DE GLUCOSA Y β-CAROTENO EN LA PULPA COCIDA DE DIFERENTES CULTIVARES DE BONIATOS Y DE ZAPALLOS ALMACENADOS DURANTE SEIS MESES	49
3.2.1. <u>Bioaccesibilidad <i>in vitro</i> de glucosa en la pulpa cocida de cultivares de boniato y zapallo almacenados durante seis meses</u> ...	49
3.2.2. <u>Bioaccesibilidad <i>in vitro</i> de β-caroteno en la pulpa cocida de cultivares de boniato y zapallo almacenados durante seis meses</u>	53
3.3. EFECTO DE LA COCCIÓN EN EL CONTENIDO DE GLUCOSA, β-CAROTENOS, VITAMINA C, FIBRA DIETÉTICA Y DE MATERIA SECA DE LA PULPA DE DIFERENTES CULTIVARES DE BONIATOS Y DE ZAPALLOS ALMACENADOS DURANTE SEIS MESES	59
3.3.1. <u>Retención del contenido de glucosa total</u>	59
3.3.2. <u>Retención del contenido total de <i>trans</i>-β- caroteno</u>	61
3.3.3. <u>Retención de contenido de vitamina C</u>	64
3.3.4. <u>Retención del contenido de la fibra dietética</u>	66
3.3.5. <u>Retención del contenido de la materia seca</u>	68

4. <u>CONCLUSIONES</u>	70
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	73
6. <u>ANEXOS</u>	98
6.1. GLUCOSE CONTENT AND <i>IN VITRO</i> BIOACCESSIBILITY IN SWEET POTATO AND WINTER SQUASH VARIETIES DURING STORAGE	98
6.2. VARIATION IN GLUCOSE, α AND β- CAROTENE AND LUTEIN CONTENT DURING STORAGE IN WINTER SQUASH “TYPE BUTTERNUT”	105
6.3. EFEECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES CONTROLADAS DE TEMPERATURA SOBRE ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE ZAPALLOS	106
6.4. LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	113

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar tres cultivares de boniato (Arapey, Beauregard y Cuabé) y dos cultivares de zapallo (Atlas y Maravilla del Mercado) por el contenido de glucosa total, β -caroteno, α -caroteno, luteína, vitamina C, fibra dietética, materia seca, polifenoles totales y la capacidad antioxidante total en la pulpa cocida en horno microonda de las raíces y frutos almacenados (14 °C y 80% HR) durante seis meses. Además cuantificar la bioaccessibilidad *in vitro* de la glucosa y el β -caroteno y evaluar los cambios de algunos nutrientes en la pulpa cruda inducidos por la cocción. Todos los datos se expresan para 100 gramos de peso fresco. El contenido de glucosa total en la pulpa cocida de Arapey fue 17,2 g seguido de Beauregard (12,4 g) y Cuabé (12,2 g), y cuatro veces superior a la pulpa de los zapallos (3,5 g). Beauregard y Cuabé tuvieron muy alto contenido de β -caroteno (82,3 y 56,7 mg), mientras que en los zapallos fue más bajo (3,5 mg). Se observó en Maravilla del Mercado seis veces más de luteína (0,489 mg, *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*) y siete veces menos de α -caroteno (3,0 mg), que en Atlas (*Cucurbita moschata*). La vitamina C en la pulpa cocida fue 33,6 mg en boniatos y 32,7 mg en zapallos, y la fibra dietética del cultivar Arapey fue más alto (3,5 g) que en Beauregard (2,9 g) y Cuabé (2,4 g) siendo ésta similar en los dos cultivares de zapallo (2,9 g). El tiempo de almacenamiento modificó en boniatos y zapallos el contenido de glucosa total, carotenoides y el contenido de vitamina C de la pulpa cocida de los boniatos. La glucosa liberada en la digestión *in vitro* de la pulpa cocida de boniatos fue similar entre cultivares (Arapey 7,1 g; Beauregard 6,0 g; Cuabé 6,3 g) durante los seis meses del almacenamiento, a la vez que en zapallo la pulpa cocida de Maravilla del Mercado (1,2 g) liberó el doble de glucosa que Atlas (0,6 g). El β -caroteno liberado en la digestión *in vitro* fue mayor en Beauregard (5,1 mg) y Cuabé (4,8 mg) frente a Arapey (0,09 mg), y en Maravilla del Mercado (0,61 mg) y Atlas (0,13 mg). La cocción determinó en general una reducción de 5 % a 20% de los nutrientes.

Palabras clave: vitaminas, fibra dietética, conservación poscosecha, *Cucurbita* sp., *Ipomoea batatas*

NUTRITIONAL CHARACTERIZATION AND GLUCOSE AND β -CAROTENE *in vitro* BIOACCESSIBILITY OF SWEET POTATOES AND WINTER SQUASHES, DURING THE STORAGE AND COOKING

SUMMARY

The aim of this work was to characterize three cultivars of sweet potato (Arapey, Beauregard and Cuabé) and two cultivars of winter squash (Atlas and Maravilla del Mercado) for total content of glucose, β -carotene, α -carotene, lutein, vitamin C, dietary fiber, dry matter, total polyphenols and total antioxidant capacity, in the pulp cooked in a microwave oven of sweet potatoes and winter squashes stored (14 °C and 80% RH) for six months. In addition, quantify the *in vitro* bioaccessibility of glucose and β -carotene and evaluated some nutrients changes in the raw pulp induce by cooking. All data are expressed for 100 grams of fresh weight. Total glucose content in cooked pulp was for Arapey 17.2 g followed by Beauregard (12.4 g) and Cuabé (12.2 g), and four times higher than in winter squashes (3.5 g). Beauregard and Cuabé had a very high content of β -carotene (82.3 and 56.7 mg), while in winter squashes were 3.5 mg. Six times more content of lutein in *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata* (0.489 mg) and seven times less for α -carotene (3.0 mg) than in Atlas (*Cucurbita moschata*) were measured. The vitamin C content in sweet potato pulp was 33.6 mg and in winter squashes 32.7 mg. The dietary fiber content in Arapey was higher (3.5 g) than Beauregard (2.9%) and Cuabé (2.4 g), being for the two winter squash cultivars (2.9 g). The storage time modified total glucose and carotenoids in sweet potatoes and winter squashes, and vitamin C content in cooked pulp of the sweet potatoes. The glucose released *in vitro* digestion of cooked sweet potato pulp was similar (Arapey 7.1 g, Beauregard 6.0 g, Cuabé 6.3 g) during the six months of storage; while in Maravilla del Mercado (1.2 g) released double than Atlas (0.6 g). The β -carotene released *in vitro* digestion was higher in Beauregard (5.1 mg) and Cuabé (4.8 mg) than Arapey (0.09 mg), Maravilla del Mercado (0.61 mg) and Atlas (0.13 mg). The cooking determined a reduction of 5% to 20% of the nutrients.

Keywords: vitamins, dietary fiber, postharvest storage, *Cucurbita* sp., *Ipomoea batatas*

1. INTRODUCCIÓN

En la dieta humana las hortalizas y frutas tienen un reconocido beneficio en el mantenimiento de la salud por disminuir el riesgo de manifestación de enfermedades como cardiopatías, diabetes, obesidad, enfermedades respiratorias crónicas y diferentes tipos de cáncer (Krinsky, 2001; Krinsky et al., 2005; Asplanud, 2002; Wang, 2013; Wang et al., 2016). La aparición de estas enfermedades se pueden prevenir en gran medida mediante la ingesta de cantidades adecuadas de frutas y hortalizas, por su aporte de vitaminas, fibras, macro y microminerales así como de variados compuestos bioactivos (WHO 2002; Palomo et al., 2009; Rabelo y Díaz, 2012; Wang, 2013). Sin embargo, la cantidad y biodisponibilidad de los nutrientes y de compuestos bioactivos de las hortalizas y frutas pueden variar en función de la variedad, sistema de producción, tiempo y tipo de almacenamiento y por la forma de preparación (Goldman et al., 1999; Wang, 2013).

Las raíces de boniato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] y los frutos de zapallos [*Cucurbita* spp.], ambas hortalizas originarias de América, son cultivadas en varias regiones del mundo y consideradas en los países de Asia y África como una de las principales fuentes de alimentos (Bates et al., 1990; Paris, 1994; Woolfe, 1992; Robinson y Walters-Decker, 1997; Bovell-Benjamin, 2007; FAOSTAT, 2016). En el Cuadro 1 se presenta el contenido de algunos nutrientes en la pulpa cruda y cocida de boniatos y zapallos y los requerimientos diarios recomendados para un adulto. Al mismo tiempo, las especies de *Cucurbita* así como los boniatos (*Ipomoea batatas*, L.) tienen propiedades medicinales como antibacterial, antidiabéticas, anti parasíticas, moduladoras del sistema inmunológico, regulador de tránsito intestinal, reducción de riesgos de varios tipos de cáncer, e hipocolesterolemias entre otras (Fu et al., 2006; Lim, 2012; Lim, 2016).

En Uruguay los boniatos y los zapallos son dos de las hortalizas de mayor importancia por desarrollarse en el 43% de la superficie hortícola (3880 ha), en

50% de las explotaciones familiares (1280 productores), por el volumen de ingreso en el principal mercado mayorista (4 a 5% del total de hortalizas y frutas), y por el lugar que ocupan en el consumo promedio de hortalizas en nuestro país con 5 a 7 kg persona⁻¹ año⁻¹ (MGAP-CAMM, 2013ab; MGAP-DIEA, 2016).

Además, los boniatos y zapallos tienen a su vez media a larga conservación (4 a 8 meses) por el cual es posible disponer de éstos vegetales todo el año a partir de distintos cultivares, épocas y sistemas de producción y almacenamiento así como abastecer el mercado local desde diferentes zonas de producción (Woolfe, 1992, Robinson y Walters-Decker, 1997; Zaccari et al., 2002; Zaccari et al., 2012, Vicente et al., 2017).

Cuadro 1. Contenido de algunos nutrientes, en pulpa cruda y cocida de boniatos y zapallos cada 100 g de pulpa en base fresca, y requerimientos diarios recomendados (RDA) para un adulto

	Boniato		Zapallo		RDA ^{xy}
	crudo	Cocido	crudo	cocido	
Materia seca (g)	11–40,7 ^{abe}	20,9-37,0 ^{be}	8-9 ^d	7-9 ^d	-
Carbohidratos (g)	26,1 ^{ae}	26,3-32,5 ^{ae}	6,56-40 ^{dh}	12 ^d	130
Proteína (g)	0,46-2,23 ^{ae}	0,261,7-2,1 ^{ae}	3,0 ^d	1-2 ^h	46-56
β-caroteno (mg)	0,073-75 ^{abce}	0,09 -20 ^{abef}	3-4,4- 93 ^{dg}	1-29,6 ^{gh}	8-12
Vitamina C (mg)	17,3-64,5 ^{ae}	24 ^{ae}	9-55,6 ^d	12-31 ^h	75-90
Fibra dietética (g)	0,49-4,71 ^{ae}	2,4 ^{ae}	0,5-7 ^d	1-3 ^h	25-30

Fuente: ^aWoolfe (1992) ^bZaccari et al. (2007b) ^cTeow et al. (2007) ^dLim (2012) ^eLim (2016) ^fBurri (2011) ^gZaccari et al. (2007a) ^hRobinson y Walters-Decker (1997) ^xIOM (2001abc) ^yFNB (2000)

Los cambios fisiológicos y metabólicos que experimentan los vegetales luego de cosecha son dependientes de la especie y/o variedad (Arima y Rodríguez Amaya, 1990; Teow et al., 2007; Ji et al., 2015), de factores del desarrollo del cultivo (Rautenbach et al., 2010; Conti et al., 2015), y de las condiciones de

conservación y procesamiento (Purcell y Sistrunk, 1985; Lee y Kader, 2000; Phillips et al., 2016), particularmente de la temperatura y del tiempo de almacenamiento y de la forma de cocción (Lee y Kader, 2000; Chavez et al., 2000; Conti et al., 2015; Bureau et al., 2015; Phillips et al., 2016).

Las condiciones de un prolongado almacenamiento de boniatos y zapallos enteros a 12 a 14 °C, 75 - 80 % de humedad relativa y presencia de aire, reducen la pérdida de peso y los descartes por brotaciones y pudriciones (Woolfe, 1992; Robinson y Walters-Decker, 1997). Temperaturas inferiores a 10 - 12 °C durante la conservación determinan desordenes fisiológicas desarrollándose síntomas de daño por frío, mientras que temperaturas superiores aceleran el envejecimiento y desarrollo de enfermedades y fisiopatías en las raíces y frutos (Woolfe, 1992; Robinson y Walters-Decker, 1997; Cantwell y Suslow, 1998). Los cambios fisiológicos y metabólicos promovidos en la conservación suscitan reducción y/o potencian el contenido de algunos nutrientes y fitoquímicos, estando condicionados en cada localidad por factores de pre y pos cosecha que incluyen hábitos de preparación y consumo de éstas hortalizas.

1.1. LA GLUCOSA COMO NUTRIENTE

Las hortalizas energéticas, y particularmente los boniatos (*Ipomoea batatas*, L.) y los zapallos (*Cucurbita* spp.), se caracterizan por el alto contenido de carbohidratos complejos como el almidón y simples como los azúcares, pudiendo constituir una base dietaria de interés. La glucosa es el azúcar simple más abundante fuente de energía, necesaria en la nutrición para mantener la vida y particularmente para la actividad del cerebro (Smith et al., 2011; Riby et al., 2011). La glucosa tiene además una estrecha relación con desarrollo de enfermedades no transmisibles como la diabetes, la hipertensión, problemas cardiovasculares, la obesidad y el sobrepeso así como otros desordenes físicos, psicológicos, fisiológicos y psiquiátricos como la depresión y anorexia nerviosa (Peters et al., 2004; EFSA, 2010). En raíces reservantes de boniatos los

carbohidratos representan el 25 - 28 % del peso fresco de la pulpa fresca y en frutos maduros de zapallos 5 - 7% (Bates et al., 1990; Woolfe, 1992).

El almidón es el carbohidrato principal del total de peso seco de pulpa de boniatos y zapallos, 85 a 95 % y 11 a 62 % respectivamente, siendo la fuente de energía que permiten mantener la calidad de las raíces y de los frutos durante el almacenamiento (Woolfe, 1992; Robinson y Walters-Decker, 1997; García-Méndez et al., 2016). La cantidad de almidón y especialmente la digestibilidad del mismo, conlleva cambios en el proceso de maduración del tubérculo o raíz y en los procesos poscosecha del mismo (Kami et al., 2011). El almidón en los frutos y raíces almacenadas es metabolizado en azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa) por ser los principales sustratos para la respiración aeróbica que mantiene el metabolismo del vegetal durante la conservación (Woolfe, 1992; Zhang et al., 2002; Stevenson, 2003). En dicho proceso se producen modificaciones en las propiedades del gránulos de almidón y su digestibilidad después de la cocción (Oke y Workneh, 2013; Yin y Wang, 2016). La digestibilidad del almidón está estrechamente vinculada a la morfología del gránulo, la relación de amilosa y amilopectina, la temperatura de gelatinización del almidón siendo éstas propiedades características de éste carbohidrato (Zhang y Oates, 1999; Ek et al., 2011; Singh et al., 2012; Yin y Wang, 2016). Por otra parte, el almidón digestible de una hortaliza energética aumenta con la cocción, y como consecuencia incrementa el nivel de glucosa en la sangre y el valor del índice glicémico (IG), dependiendo de la velocidad y altura del pico de glucosa (Venn y Green, 2007). El consumo de carbohidratos fácilmente biodisponibles resulta en un aumento rápido de los niveles de glucosa en la sangre, que están vinculados directamente con la obesidad, la diabetes tipo 2, algunos tipos de cáncer y a enfermedades cardiovasculares (Jenkins et al., 2002; Seroczynska et al. 2014). Un alto contenido de almidón no necesariamente está asociado a un alto IG, ya que las características de las fracciones que los componen y los demás componentes de la dieta completa (contenido y tipo de fibra dietética, almidón resistente), así como las condiciones de procesamiento y almacenamiento, entre

otros hacen variar el IG, disminuyendo o aumentando la velocidad y el pico de glucosa en la sangre (Englyst y Cummings, 1987; Englyst et al., 1999; Blanco-Metzler et al., 2004). Por tanto, es de interés en nuestro trabajo conocer el contenido total de glucosa y su bioaccessibilidad en los cultivares de boniatos y zapallo comúnmente consumidos en nuestro país.

1.2. LOS CAROTENOIDES Y LA PROVITAMINA A

Los carotenoides son tetra terpenos que por su estructura química confiere color rojo, anaranjado y/o amarillo de las frutas y hortalizas (Nisar et al., 2015; Stanger, 2016). Los carotenoides hidrocarbonados constituidos por carbono e hidrógeno son denominados carotenos, y los que contienen oxígeno en forma de hidroxilo (OH), epoxi, metoxi (OMe), carbometoxi (CO₂Me), aldehído (CHO), ceto (C=O), carboxi (CO₂H), se denominan xantofilas (Rodríguez-Amaya, 2010; Nisar et al., 2015). En la naturaleza hay más de 750 carotenoides de los cuales los predominantes en cantidad en los vegetales son los carotenos α -caroteno, β -caroteno, licopeno, y las xantofilas luteína, α y β -criptoxantina, zeaxantina, violaxantina y astaxantina, identificándose alrededor de 60 carotenoides que tienen importancia en la dieta humana (De Ancos et al., 2011; Biehler et al., 2012; Nisar et al., 2015). Algunos de los carotenoides como α -caroteno, β -caroteno, licopeno y criptoxantinas son precursores de la vitamina A. En el caso de la vitamina A se conocen síntomas claros de deficiencia en el ser humano por el cual es posible establecer requerimientos diarios recomendados (RDA). El valor de vitamina A calculado con base de carotenoides provitamina A se relaciona como un retinol de actividad equivalente (RAE) correspondiendo a 12 mg de β -caroteno (IOM, 2001bc). El hombre, al igual que otros vertebrados, debe consumir precursores de vitamina A ya que no es capaz de sintetizarlos *de novo* (Krinsky, 2001; Rao y Rao, 2007; Stanger, 2016). Los carotenoides son moléculas hidrofóbicas, lipofílicas, lábiles frente a factores como la luz, la presencia de oxígeno y la alta temperatura, se degradan rápidamente y se oxidan perdiendo su actividad biológica (Melendez-Martinez et al., 2004; Stanger, 2016). En zapallos

y boniatos la pulpa amarilla y anaranjada está determinada por la presencia de carotenoides ubicados en los cromoplastos, que dan el color característico de la variedad (Zaccari et al., 2007a; Zhang et al., 2014; Stanger, 2016). En boniatos se han seleccionado cultivares con pulpa de color amarilla, anaranjada y púrpura (Teow et al., 2007; Zaccari et al., 2012; Vicente et al., 2017), y en similar forma en zapallos con intenso color de pulpa anaranjada (Arima y Rodríguez-Amaya, 1988; Paris, 1994; Carvalho et al., 2012; Bonina-Noseworthy et al., 2016).

Los cultivares de boniatos y zapallo con pulpa anaranjada tienen relevantes niveles de β -caroteno (2,34 a 14,85 mg de β -caroteno 100 g⁻¹ peso fresco) (González et al., 2001; Pandey et al., 2003, van Jaarsveld et al., 2005; Zaccari et al., 2007ab; Blessing et al., 2011; Mohanraj y Sivasankar, 2014).

Al mismo tiempo estos vegetales pueden ser fuente de otros carotenoides como α -carotenos, luteína, zeaxantina y criptoxantina (Kimura et al., 2007; Zaccari et al., 2007ab; Burri, 2015), presentes estos en menor cantidad pero también involucrado en destacados procesos fisiológicos y metabólicos (Liu et al., 2009; Oloyede, 2012; Zhang et al., 2014).

Los frutos y hortalizas con coloración naranja son más eficientes en incrementar las concentraciones séricas de retinol y β -caroteno en niños (de Pee et al., 1998). La ingesta de carotenoides, β -carotenos y luteínas, está asociada a una disminución de enfermedades degenerativas vinculadas al envejecimiento como el daño neuronal, degeneración macular relativa a la edad, formación de cataratas, además de intervenir en la calcificación de los huesos, el crecimiento, el sistema inmunológico, y en la prevención de otras patologías como consecuencia de un mejor estatus de vitamina A. Además los carotenoides intervienen en la reducción del impacto de diferentes fuentes de estrés celular e inhibición o detención de la generación de células cancerígenas entre otras funciones (Southon y Faulks, 2003; Kiokias y Gordon, 2004; Vishwanathan et al., 2012; Wang, 2013; Burri, 2015; Rao y Rao, 2007; Alós et al., 2016). Los β -carotenos son transportados en el organismo humano por lipoproteínas de baja densidad (LDL) teniendo la capacidad de atrapar los radicales peróxidos y el oxígeno singlete interviniendo en la disminución de una de las causas de las enfermedades cardiovasculares que es

la oxidación de las LDL que provocan lesiones arterioescleróticas (Clevidence y Bieri, 1993; Frei, 1995; Ziegler et al., 1996).

El procesamiento de la pulpa de boniatos y zapallos, así como el almacenamiento con factores de luz, temperatura y oxígeno pueden afectar la cantidad y disponibilidad de los carotenos y luteínas (van Jaarsveld et al., 2006). Por tanto, el contenido de carotenos en la pulpa depende de la variedad, del tiempo y las condiciones de conservación de las raíces y frutas y de la forma de cocción (Rodríguez-Amaya, 1997; Stanger, 2016). Piroi et al. (2016) en 10 tipos de calabazas (*Cucurbita moschata*), Carvalho et al. (2015) en 20 tipos de genotipos de *Cucurbita moschata*, y Souza et al. (2012) en 48 accesos de zapallos (*Cucurbita moschata*, *Cucurbita maxima* y *Cucurbita pepo*) del banco de germoplasma de Embrapa, determinaron una alta variación en contenido de carotenos con un rango desde 1,1 a 36,7 mg en 100 g de pulpa. Las variedades de raíces y frutos con distinto color presentan diferentes contenidos de carotenoides y es necesario determinarlos con el fin de adaptar este conocimiento a distintos objetivos y valorar los cultivares que son fuente de estos nutrientes (Picha, 1985).

1.3. LA VITAMINA C

Los boniatos y zapallos son también reportados como interesantes fuentes de vitamina C (Woolfe, 1992; Lee y Kader, 2000; Eitenmiller et al., 2008).

La vitamina C o ácido L-ascórbico es una lactona de seis carbonos que rápidamente se oxida en solución acuosa en su forma de ácido L- de-hidro-ascórbico (Eitenmiller et al., 2008; Ulrich-Merzenich et al., 2009; De Ancos et al., 2011). Ambas formas del ácido contribuyen a la actividad biológica de la vitamina C, en mayor efecto biológico el ácido L-ascórbico que el ácido de-hidro-L-ascórbico que generalmente está en menor proporción (10%) (Eitenmiller et al., 2008, Ulrich-Merzenich et al., 2009; De Ancos et al., 2011).

Al igual que los carotenoides, las frutas y hortalizas representan más del 90% de las fuentes de vitamina C siendo esencial su consumo para el ser humano y algunos otros mamíferos. La vitamina C es esencial en estas especies por estar

ausente en ellos la enzima L-gulono 1,4 lactona oxidasa en la ruta metabólica que biosintetiza en el hígado ésta vitamina a partir de la glucosa (FNB, 2000; Valpuesta y Botella, 2004; Eitenmiller et al., 2008; Wang et al., 2016).

La vitamina C, en el ser humano, interviene en la formación de colágeno y de la piel, es cofactor en varias reacciones enzimáticas relacionadas a la síntesis de carnitina, colesterol, catecolaminas, aminoácidos y hormonas; incrementa la absorción del hierro y el uso del calcio, regenera la vitamina E, reduce el colesterol en el plasma sanguíneo, es inmunoregulador, antiinflamatorio y neuroprotector; reduce riesgos de cardiopatías y diferentes tipos de cáncer (Niki et al., 1982; FNB, 2000; Tong et al., 2002; Eitenmiller et al., 2008; Fitzpatrick et al., 2012). Los síntomas de la deficiencia de vitamina C son el escorbuto, hemorragias, reducida absorción de hierro y de folato alteradas. La deficiencia moderada puede conducir a fatiga, cansancio e irritabilidad (Eitenmiller et al., 2008).

El contenido de Vitamina C en frutas y hortalizas es de 1 a 180 mg 100 g⁻¹ del peso fresco dependiendo del vegetal o parte del vegetal y del estado de madurez considerado (Lee y Kader, 2000; Eitenmiller et al., 2008; De Ancos et al., 2011; Phillips et al., 2016). En pulpa de diferentes cultivares de boniatos se reportan 17,3 a 64,5 mg 100 g⁻¹ del peso fresco y en pulpa de zapallos 8 a 55,6 mg 100 g⁻¹ del peso fresco (Woolfe, 1992; Conti et al., 2015; Lim, 2012; Mohanraj y Sivasankar, 2014; Lim 2016).

La vitamina C es también un potente antioxidante explicado por dos factores, en primer lugar porque tiene un electrón en estado de oxidación con un electrón de baja potencia de reducción, y en segundo lugar el ascorbato puede ser fácilmente regenerado (Gülçin, 2012; Duarte y Lunec, 2005). Estas características le permiten reducir relevante oxidantes biológicos como el oxígeno singlete, ácido hipocloroso, radicales hidroxilo (.OH) y anion superóxido (O₂⁻) (Gülçin, 2012; Duarte y Lunec, 2005). La vitamina C es hidrosoluble, se degrada muy rápidamente con alta temperatura (> 40 °C), baja humedad relativa (< 60%) entorno al vegetal, se oxida muy rápido en solución acuosa, reacciona con el oxígeno atmosférico, es fácilmente degradado en pH alcalino, en presencia de

catalizadores metálicos como Fe y Cu, y con la luz (Lee y Kader, 2000; Eitenmiller et al., 2008; Ulrich-Merzenich et al., 2009; Phillips et al., 2016). Es por ello que en el almacenamiento de los boniatos y zapallos y los procesos de preparación del alimento pueden alterar significativamente el contenido de vitamina C disponible (Lee y Kader, 2000).

Desde otro punto de vista el contenido de ácido ascórbico es otro componente de interés que permitirá en esta tesis caracterizar distintos cultivares de boniatos y zapallos y los cambios sufridos con el almacenamiento y procesamiento.

1.4. LA FIBRA DIETÉTICA EN FRUTAS Y HORTALIZAS

La fibra dietética es la suma de polisacáridos de origen vegetal constituido por compuestos insolubles en agua, poco fermentable, como la celulosa, hemicelulosa y lignina; y las hidrosolubles o fermentables como los oligosacáridos, pectinas, gomas y ceras. Estos compuestos no son digeridos en el estómago ni en el intestino delgado y son fermentadas en forma parcial o muy lentamente en la microbiota colónica (Marlett et al., 2002; DeVriers, 2003; Dhingra et al., 2012; Mudgil y Barak, 2013; Mohanraj y Sivasankar, 2014; Vilcanqui-Pérez y Vílchez-Perales, 2017).

El contenido de fibra dietética en la pulpa de boniatos de 1,5 a 3,5 % y en la pulpa de zapallos 1 a 7 % del peso fresco (Robinson y Walters-Deckers, 1997; Stevenson, 2003; Seroczynska et al., 2014; Wang et al., 2016).

Hay evidencia que la fibra dietética en ingestas adecuadas contribuye a reducir la obesidad y el sobrepeso, los riesgos de desarrollo de diabetes, además aporta a bajar los niveles de colesterol en sangre, el estreñimiento, y el cáncer de colon (Marlett et al., 2002). Las fibras solubles tienen mejores propiedades de hidratación que conducen a la formación de viscosidad, fermentación, y producción y estímulo de hormonas que regulan el apetito y la saciedad; mecanismo importantes para la modulación del sobrepeso y la obesidad (Schneeman, 1998; Marlett et al., 2002; Dhingra et al., 2012; Mudgil y Barak,

2013). En cambio las fibras insolubles están relacionadas con el incremento de la masa y el volumen fecal, reducción del tiempo de tránsito intestinal con posibilidades del control del estreñimiento y el cáncer en el colon (Marlett et al., 2002; Deepak y Sheweta, 2013). La fibra dietética tiene capacidad de absorber toxinas y quelatar o secuestrar metales pesados barriéndolos del tracto digestivo en la excreción (Alvarez y González Sánchez, 2006). Estudios en humanos han demostrado que el consumo de 15 g día⁻¹ de fibra reduce significativamente la diabetes y la hiperglucemia postprandial en pacientes con diabetes tipo 2. La Asociación Americana de Diabetes (ADA) recomienda el consumo de fibra entre 20 a 35 g día⁻¹ (soluble e insoluble) en personas saludables para mantener un mejor control glicémico e insulínico y en pacientes con diabetes tipo 2, hasta 50 g día⁻¹ de fibra. Sin embargo debe considerarse que una muy alta cantidad de fibra (> 35 g día⁻¹) tiene efectos perjudiciales reduciendo la absorción de calcio, hierro y zinc, además de presentar limitaciones en la palatabilidad y aceptación del alimento (Marlett et al., 2002; Alvarez y González Sánchez, 2006; Deepak y Sheweta, 2013; Vilcanqui-Pérez et al., 2017).

1.5. OTROS COMPUESTOS BIOACTIVOS – LOS POLIFENOLES

Los polifenoles son compuestos del metabolismo secundario de los vegetales, conocidos también como sustancias fotoquímicas, están presentes en bajas cantidades (< 1 mg 100 g⁻¹ pf) en frutas y hortalizas, en mayor proporción en la cáscara que en la pulpa. Tienen como funciones en el vegetal ser protectores de patógenos (insectos, hongos, bacterias), contribuyen al color, la protección a la radiación ultravioleta y explican el sabor amargo y astringente de algunos vegetales (Tomás-Barberán, 2003; Scalbert et al., 2005; Balasundram et al., 2006; De Ancos et al., 2011; Vicente et al., 2009; Gülçin, 2012).

Los polifenoles son más de 8000 compuestos que tienen como principal característica estructural el poseer uno o más grupos hidroxilo unidos a uno o más anillos bencénicos, derivados de los aminoácidos aromáticos fenilalanina y tirosina (Steed y Truong, 2008; Gülçin 2012; Caroch y Ferreira, 2013). Ente los

principales polifenoles presente en los vegetales están los flavonoides y los ácidos fenólicos. Estos compuestos son antioxidante, cuya efectividad biológica depende de su estructura química, e intervienen secuestrando radicales como el anión superóxido, radicales hidroxilo, peróxidos de hidrógeno, hidroperóxidos, participan modulando la actividad de varias enzimas, inhiben la peroxidación de los lípidos, protegiendo al organismo de enfermedades de origen oxidativo como enfermedades cardíacas y vasculares, neurodegenerativas y varios tipos de cáncer (Tomás-Barberán, 2003; Naczk y Shahidi, 2004; Gülçin, 2012). En vegetales factores de estrés como la alta temperatura, déficit de agua, exposición a UV, daños físicos y/o patológicos al mismo tiempo que deterioran el vegetal pueden inducir la biosíntesis de polifenoles como un mecanismo de defensa antioxidante (Choi et al., 2005; Zheng et al., 2003; Vicente et al., 2009; Jung et al., 2011). En consecuencia la cantidad de estos compuestos puede variar para un mismo vegetal con el tiempo y la condición de almacenamiento. A su vez, en diferentes formas de cocción la intensidad de la preparación (tiempo y temperatura) así como la preparación en agua, en presencia de oxígeno y/o luz determinan reducción de 10 a 75 % de polifenoles, en mayor parte por solubilización en el agua y/o formación de otros compuestos (Vicente et al., 2009; Jung et al., 2011; Gülçin, 2012). Por otra parte, si bien se ha vinculado una ingesta de frutas y hortalizas, con contenido alto de polifenoles y reducción de enfermedades degenerativas, el estudio de los mecanismos que hacen a su bioaccessibilidad y biodisponibilidad en los sitios de acción aún está siendo dilucidado dada su complejidad de compuestos e interacción de algunos de ellos con la microflora intestinal (Bravo, 1998; Tomás-Barberán, 2003; Manach et al., 2004; Scholz y Williamson, 2007; Carbonell-Capella et al., 2014; Cilla et al., 2017).

En la pulpa de boniatos se ha cuantificado un amplio rango en contenido de polifenoles (0,2 a 43,9 mg AGE 100 g⁻¹ pf), estrechamente relacionados la variedad (color de la pulpa) y la forma de cocción (Huang et al., 2005a; Padda y Picha, 2008; Jung et al., 2011; Mohanraj y Sivasankar, 2014; Musilová et al., 2017). Las variedades de pulpa amarilla-anaranjada presentan en general menor cantidad de polifenoles totales que los de pulpa morada debido probablemente a la

cantidad que biosintetiza cada cultivar como a la/s especie/s de polifenoles presentes (Walter et al., 1979; Naczk y Shahidi, 2004; Huang et al., 2005b; Rumbaoa et al., 2009; Wang et al., 2016). Los polifenoles principales de la pulpa de boniato han sido identificados como ácido clorogénico y antocianinas (Steed y Troung, 2008; Teow et al., 2007; Jung et al., 2011; Wang et al., 2016).

En pulpa de zapallos hay menor cantidad de referencias en contenido de polifenoles totales con valores para 100 g de pulpa cruda y cocidas entre 472,6 a 557,2 mg AGE en la especie *Cucurbita maxima*, Duch. (Dini et al., 2013) y en *Cucurbita moschata* 95 a 45 mg AGE (Azizah et al., 2009) y 3,2 a 10,7 mg AGE (Jacobo-Valenzuela et al., 2011; Oloyede, 2012). Las variaciones en el contenido de polifenoles totales en pulpa de zapallo encontradas en la bibliografía es en parte consecuencia de la diversidad de especie de *Cucurbita* y en el cual no se especifica muchas veces la especie, la variedad, el estado de madurez de los frutos y/o el momento y condiciones de la conservación poscosecha de los frutos a partir del cual se realizan las determinaciones.

1.6. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE FRUTAS Y HORTALIZAS

Los compuestos antioxidantes son sustancias químicas capaces de neutralizar y eliminar radicales libres compuestos muy reactivos capaces de oxidar las células, altera el ADN acelerando el envejecimiento y muerte celular (Gülçin, 2012). La capacidad antioxidante en los alimentos, entre ellos en frutas y hortalizas, ha sido muy estudiada en las últimas décadas dado que la ingesta de estos vegetales puede reducir compuestos generados en procesos de oxidación de biomoléculas que están relacionadas con la salud como enfermedades asociadas a procesos degenerativos (Prior y Gouhua, 2000; Valdez et al., 2000; Adams et al., 2011; Gülçin, 2012; Carbonell-Capella et al., 2014). Muchos compuestos aportan a la capacidad antioxidante en los vegetales entre ellos la vitamina C, los compuestos fenólicos, los carotenoides y el tocoferol (Pietta, 2000; De Ancos et al., 2011; Procházková et al., 2011; Gülçin, 2012; Balasaheb y Dilipkumar, 2015).

Uno de los métodos mas comunes, por su simplicidad, para determinar capacidad antioxidante total es el radical 2,2-diphenil-1-picril hidrazilo (DPPH•), siendo ésts un radical orgánico estable (Gülçin, 2012). Sin embargo la longitud de onda en la cual se determina la capacidad antioxidante con el radical DPPH• (λ 517 nm) pueden interfiere con otros compuestos que absorben en igual longitud de onda, y/o hay impedimento estérico en las moléculas con mayor peso molecular como los carotenoides, subestimando la capacidad antioxidante de la muestra (Arnao, 2000; Prior et al., 2003; Prior et al., 2005; Huang et al., 2005b; Gülçin, 2012).

Los compuestos antioxidantes actúan en modo sinérgico y por ello es necesario más de un método para evaluar la capacidad antioxidante total de una matriz. Aún no existe un consenso sobre cuál sería el protocolo y combinación de métodos más adecuados para realizar las determinaciones que permitan reducir la dificultad de comparar resultados entre diferentes estudios publicados sobre la capacidad antioxidante total de un alimento.

1.7. LA BIOACCESIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES EN UN ALIMENTO

La bioaccesibilidad es la cantidad de un compuesto de la matriz del alimentos que es liberado en el tracto gastrointestinal y está disponible para ser absorbido en la pared intestinal (Cardoso et al., 2015; Cilla et al., 2017). Otra definición menos utilizada para conceptualizar la bioaccesibilidad de un compuesto incluye además la asimilación y absorción en el epitelio intestinal y en el pasaje a través de la pared intestinal hasta el hígado previo al sistema metabólico (Cilla et al., 2017).

La cantidad de nutrientes y fitoquímicos presentes en el alimentos no son en su totalidad bioaccesibles, dependiendo de la características del alimento, del nutriente, la forma de preparación así como las características propias del individuo (edad, salud, actividad, hábitos de consumo) y la interacción entre estos mismos factores (Clevidence et al., 2000; Fraser y Bramley, 2004).

Una forma para determinar la bioaccessibilidad de un nutriente es utilizar el método *in vitro* en el cual se simulan las condiciones fisiológicas que se desarrollan en el ser humano durante el proceso de la digestión gastrointestinal.

A nivel internacional, varios grupos de mejoramiento genéticos y proyectos de investigación han puesto interés en caracterizar el contenido de nutrientes y su bioaccessibilidad en boniatos y zapallos entre otras hortalizas. En particular hay abundante investigación en los boniatos de pulpa anaranjada, cruda y cocida, dado que pueden aportar nutrientes de alta calidad para mitigar el hambre y serios problemas de salud vinculados a la deficiencia de vitamina A en la población más vulnerable como lo son esencialmente los niños, mujeres embarazadas y ancianos, y especialmente en regiones más pobres del mundo (Woolfe, 1992; Failla et al., 2009; WHO, 2009; Burri, 2011).

En nuestro país se han realizado en este mismo sentido por parte del Instituto Nacional de Investigación (INIA) y en la Facultad de Agronomía mejoramiento genético en boniato, liberándose a partir del año 1998 variedades de pulpa amarillas y anaranjada (Gimenez et al., 2014; González y Ferreira, 2014; INASE 2016). Sin embargo poco se ha evaluado respecto a la calidad nutricional de estas nuevas variedades de boniato, y/o en el impacto del almacenamiento y/o la cocción sobre los principales nutrientes que aportan estas raíces (Zaccari et al., 2012; Vicente et al., 2017). Por otra parte no se ha avanzado en selección de cultivares de zapallo locales, siendo evaluados en la investigación nacional aspectos de producción, almacenamiento de híbridos y variedades importadas que se comercializan en nuestro mercado (Zaccari et al., 2002; Zaccari et al., 2014). Además, no hay trabajos de investigación nacional sistematizada que evalúen la bioaccessibilidad y/o biodisponibilidad de los principales nutrientes de las variedades de hortalizas y frutas producidas y consumidas localmente.

En función de la importancia de los boniatos y zapallos por su riqueza en nutrientes, y como aporte a promover el consumo de frutas y hortalizas como parte de una alimentación saludable en nuestro país, es que se planteó en este

trabajo un estudio de las propiedades nutricionales de distintos cultivares producidos en el país y durante el período de almacenamiento.

En consecuencia, el objetivo general de este trabajo fue la caracterización de cultivares de boniatos y zapallos producidos en Uruguay, desde un punto de vista nutricional, por contenido y bioaccesibilidad de nutrientes de importancia para la salud humana a través del uso de modelos *in vitro* de simulación de la digestión.

Los objetivos específicos fueron:

- Caracterizar por el contenido de glucosa total, β -caroteno, α -caroteno, luteína, vitamina C, fibra dietética y polifenoles totales y la capacidad antioxidante total en la pulpa cocida en horno microondas de tres cultivares de boniato y dos cultivares de zapallos conservados a 14 °C y 80% HR durante seis meses.
- Evaluar y cuantificar el efecto del cultivar y del tiempo de almacenamiento de los cultivares de boniatos y de zapallos en la bioaccesibilidad *in vitro* de la glucosa y el β -caroteno contenido en la pulpa cocida.
- Cuantificar los cambios inducidos en la pulpa cruda por la cocción en horno microondas en el contenido de glucosa total, β -caroteno, vitamina C, fibra dietética y materia seca para los cultivares de boniatos y zapallos durante su almacenamiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. CULTIVARES UTILIZADOS

Los boniato y los zapallos se cosecharon en el campo experimental del Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República (34° 6` S, 56° 2` W), Progreso (Canelones, Uruguay).

Los cultivares de boniatos [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] evaluados fueron Arapey, Cuabé y Beauregard (Figura 1), obtenidos de un estudio comparativo de variedades. Los dos primeros cultivares fueron liberados por el programa de mejoramiento genético de hortalizas del Instituto Nacional de Investigación. El cultivar Arapey de pulpa de color amarillo (crema), liberado en el año 1998 constituye el 64% de la oferta varietal del país. El cultivar Cuabé, de pulpa anaranjada, fue liberado en el año 2010 (Vilaró et al., 2007; Vicente et al., 2010; MGAP-CAMM, 2013a; Giménez et al., 2014). El cultivar Beauregard, de pulpa anaranjada, fue seleccionado en la Universidad de Luisiana (EUA) e introducido a Uruguay en las evaluaciones comparativa de variedades de INIA en el año 1993 (Vilaró et al., 2007). Estos dos cultivares de pulpa anaranjada corresponden a los boniatos denominados “boniatos zanahoria”, los cuales representan el 34% de la oferta en el mercado nacional (MGAP-CAMM, 2013b).

Los zapallos estudiados fueron el kabutia híbrido interespecífico Maravilla del Mercado (Sakata) tipo Iron cup [*Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*], y el calabacín híbrido Atlas (Sakata) tipo Butternut [*Cucurbita moschata* (Duch.)] (Figura 1). Los frutos de zapallos se obtuvieron de un cultivo con destino comercial también instalado en el CRS. Los cultivares de zapallos fueron seleccionados por representar el 90% de los zapallos plantados y comercializados en nuestro país (MGAP-CAMM, 2013b; MGAP-DIEA, 2016).

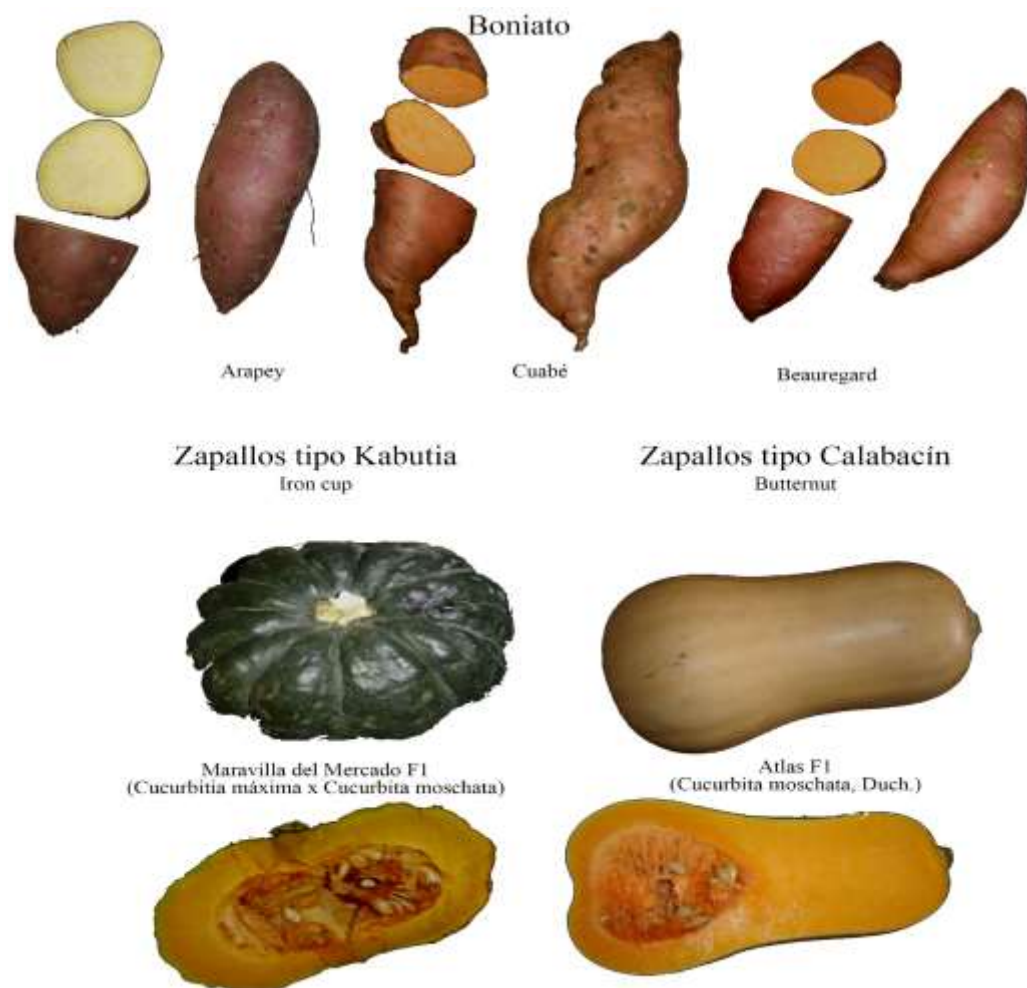


Figura 1. Cultivares de boniato y zapallos utilizados.

Las técnicas de cultivo y cosecha fueron las que habitualmente se realizan bajo sistemas convencionales de producción. Los boniatos y zapallos fueron cosechados en estado maduro al inicio de otoño (fin Marzo - inicio Abril).

Los indicadores de cosecha en zapallos se correspondieron a frutos que presentaban el pedúnculo de color verde en menos del 20 % de su superficie; para los zapallos kabutia con zona de apoyo de color amarillo anaranjada-verde claro y color de fondo de cáscara verde oscuro opaca; y para los calabacín el color de cáscara anaranjado en un 80 a 90% de la superficie del fruto y color de fondo de la cáscara con 20% verde muy claro (Zaccari et al., 2014; Zaccari y Galietta, 2015).

Los boniatos y los zapallos fueron mantenidos durante dos semanas en un espacio techado y abierto en condiciones que permitieron cicatrizar las heridas de cosecha. Posteriormente (fines de Abril), finalizada la etapa de cicatrización (curado), se trasladaron al laboratorio de Poscosecha de Frutas y Hortalizas donde se realizó una nueva selección de raíces y frutos. A fin de instalar el estudio de almacenamiento se seleccionaron raíces y frutos sin defectos físicos, patológicos y/o fisiológicos visibles.

2.2. INSTALACIÓN DEL ESTUDIO DE CONSERVACIÓN DE BONIATOS Y ZAPALLOS

La parcela de estudio consistió en 5 a 8 raíces de boniato por parcela (≈ 2 kg) y 12 a 15 frutos de zapallos por parcela (≈ 25 kg), con tres repeticiones por cultivar y tiempo de conservación. Las parcelas se almacenaron distribuidas al azar dentro de una cámara de frío a 14 ± 1 °C y $80 \pm 5\%$ HR, durante 0, 2, 4 y 6 meses.

2.3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Finalizado cada tiempo de almacenamiento, los boniatos y zapallos fueron lavados con un cepillo de cerdas suaves y en corriente de agua potable, enjuagados con agua destilada y secados con toallitas de papel. Se utilizó, para los análisis de cada cultivar, la pulpa sin cáscara obtenida en la zona ecuatorial central y ausente de defectos externos e internos visibles. En el caso del calabacín, que tiene forma piriforme, se utilizó la pulpa de la parte central del trozo del fruto obtenido desde la cavidad seminal hacia el pedúnculo.

La pulpa fue cortada con un cuchillo de acero inoxidable en cubos de 3 cm³ y 5 cm³ para los boniatos y zapallos respectivamente. Los cubos se sumergieron en agua caliente (≈ 55 °C), en una relación 1:2 (peso pulpa: volumen agua) y se cocinaron inmediatamente por 6 min en un horno microondas

doméstico (Kasel-KSMM20, China) a 800 W. La temperatura final de la pulpa fue 60 °C a 65 °C, determinado con un termómetro de pulpa digital (Yidu, China), escala -50 a 125 °C \pm 0,1 °C. Este proceso de cocción fue testeado previamente hasta obtener cubos cocidos que mantuviesen su forma y textura firme (“al dente”). Los cubos cocidos y crudos se guardaron en un congelador (-20 °C) hasta realizar los análisis.

2.4. CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE ALGUNOS NUTRIENTES

El contenido glucosa total, β -caroteno, α -caroteno, luteína, el total de otros carotenoides, vitamina C, fibra dietética, materia seca, polifenoles totales y la capacidad antioxidante total fueron determinadas en cada cultivar y momento de conservación para la pulpa cruda y cocida y por triplicado con la metodología descrita a continuación.

2.4.1. Contenido total de glucosa

La extracción de glucosa total, en la pulpa cruda y cocida, fue realizada de 0,5 g de pulpa en 8 mL de HCl (4 N) en ebullición durante 2 h. Se enfrió la solución de extraída y posteriormente la extracción fue filtrada y se neutralizó con NaOH (2 N).

El contenido total de la glucosa fue medida por método colorimétrico utilizando el procedimiento enzimático Spinreacts kits (Glucosa-TR, GOD-PROD, España). Las determinaciones se obtuvieron en un espectrofotómetro visible (Genesys 10 VIS; Thermoelectro Corporation) at $\lambda = 505$ nm. Los datos fueron expresados como gramos de glucosa cada 100 g peso fresco, en base húmeda (g 100 g⁻¹ pf).

2.4.2. Contenido total de β -caroteno, α - caroteno y luteína y otros carotenoides

La extracción y cuantificación de β -caroteno, α - caroteno y luteína totales fueron realizadas en el Laboratorio de Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Facultad de Agronomía de acuerdo Zaccari (2010) y Zaccari et al., (2015).

2.4.2.1. Extracción del carotenoides en muestras crudas y cocidas

Se utilizaron 3 g de muestra de pulpa cocida o cruda en solución de extracción tetrahidrofurano y metanol (1:1 v/v), ambos solventes con calidad HPLC. Se filtró con papel Whatman No.1 y sobre el sobrenadante se realizaron extracciones sucesivas de forma análoga a la anterior hasta pérdida de color. Los volúmenes obtenidos en cada extracción fueron registrados. El procedimiento se realizó en condiciones refrigeradas y al resguardo de la luz.

2.4.2.2. Cuantificación del contenido total de β -caroteno α -caroteno, luteína y otros carotenoides

La cantidad de β -caroteno, α - caroteno, luteína y otros carotenoides se determinó mediante la técnica de cromatografía líquida de alta presión (HPLC), (Spectral Series P100, Thermo Separations Products, EUA), utilizando una columna C30 YMCTMCarotenoid S-5; 4,6 μm x 250 mm (Waters, EUA), termostatazada a 30 °C. La fase móvil consistió en etanol, metanol, y tetrahidrofurano (75:20:5 v/v/v) calidad HPLC, utilizando un flujo de 1 mL min⁻¹ y una alícuota de la solución de extracción de 20 μL . La detección se realizó utilizando un detector de absorbancia UV-visible (UV-2000 SpectralSytem®, EUA), seteado a una longitud de onda de 450 nm. Todas las extracciones fueron previamente filtradas con filtros (Millex®-LCR 0,45 μm - 25 mm).

Fueron identificadas por su tiempo de retención (TR) las xantofilas violaxantina (TR 4,69 min), zeaxantina (TR 6,88 min) y criptoxantina (TR 8,84

min) de acuerdo a los indicados en literatura por Rouseff et al. (1992), Britton, (1998), Rodríguez-Amaya (2010) y Maurer et al., (2014). Estas xantofilas se reportaron como ‘otros carotenoides’ correspondiéndose a la sumatoria de los mismos.

Las curvas de calibración de los carotenoides cuantificados fueron construidas utilizando como estándar para β -caroteno, β -caroteno tipo I ($\geq 95\%$, C9750); para α - caroteno una mezcla de isómeros de carotenos de zanahoria [β : α 2:1, $\geq 95\%$, C4646]; y xantofilas de *Tagetes* sp. (α -carotene-3,3'-diol, β , ϵ -carotene-3,3'-diol, β , ϵ -carotene, lutein, $> 75\%$, X6250] para luteína y otras xantofilas que se reportaron como otros carotenoides. Todos los estándares utilizados fueron obtenidos en Sigma-Aldrich (Saint Louis, MO, EUA).

Los datos fueron expresados en miligramos de β -caroteno ó α - caroteno cada 100 g de pulpa fresca ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ pf), y microgramos de luteína u otros carotenoides cada 100 g de pulpa fresca ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ pf).

2.4.3. Contenido total de vitamina C

El contenido total de Vitamina C se cuantificó por estimación del contenido de ácido ascórbico total por método colorimétrico utilizando el reactivo 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH*) según Schaffert y Kingsley (1955), con modificaciones a las sugeridas por Pelletier y Brassard (1977) y Tarrago-Trani et al. (2012). La extracción se obtuvo en 1 g de pulpa cocida y 20 mL de ácido oxálico (0,1% p/v), homogenizada 2 min en Ultra-turrax (IKA T18, China) y centrifugada 10 min a 9000 rpm a 4 °C (Sigma 3-19K, Alemania). Al sobrenadante se le agregó 2 mL de ácido acético glacial (0,8% v/v), se agitó durante 15 min, se centrifugó y filtró con vacío. A 2 mL del líquido filtrado se agregó 2 mL de ácido oxálico (0,1%), 1 mL de sulfato de cobre pentahidratado (55 mg L^{-1}), y luego de 20 min se agregó 1 mL de solución de DNPH* y ácido sulfúrico 9 N (2% p/v). Se incubó a 37 °C agitando durante 3 h, inmediatamente se enfrió y se agregó 5 mL de ácido sulfúrico (85%). Finalmente, a los 30 min se midió la absorbancia en λ 521 nm. Todos los pasos se mantuvieron en oscuridad y

refrigerados con hielo para evitar la degradación del ácido ascórbico. Para la curva de calibración se utilizó como estándar L-(+)-ácido ascórbico (> 99 %, A92902, Sigma- Aldrich). Los datos fueron expresados en mg de ácido ascórbico equivalente cada 100 g de pulpa en base fresca (mg AAE 100 g⁻¹ pf).

2.4.4. Fibra dietética total

El contenido de fibra dietética se determinó, al inicio y final de la conservación (0 y 6 meses) por método enzimático - gravimétrico siguiendo protocolo AOAC (1990) en el Laboratorio de Nutrición de Producción Animal de la Facultad de Agronomía. Los datos se expresan en porcentaje o gramos cada 100 gramos de pulpa fresca (% o g 100 g⁻¹ pf).

2.4.5. Contenido de materia seca

El contenido de la materia seca (MS) se obtuvo de 20 g de pulpa cruda y cocida proveniente de cada cultivar y mes de conservación, con nueve repeticiones por tratamiento. La muestra fresca se secó en estufa (BJPX – JUNEAU, China) a 105 °C hasta peso constante. Se calculó el porcentaje de materia seca (% MS) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Materia seca (\%)} = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso fresco}} \times 100$$

2.4.6. Contenido de polifenoles totales

La extracción para cuantificar el contenido de polifenoles totales (PT) se obtuvo en 1 g de pulpa cocida en 6 mL metanol homogenizada con Ultra-turrax (IKA T18, China) durante 1 min y refrigerada con hielo. Se dejó la muestra homogeneizada a temperatura ambiente y en oscuridad y posteriormente se centrifugó durante 5 min a 3000 rpm.

La determinación de los polifenoles totales (PT) se realizó según el protocolo micro escala de Waterhouse (2002). Se agregó a 100 µL de solución de extracción 150 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (1 N, Sigma Aldrich) y 1000 µL de una solución de Na₂CO₃ (2%) y NaOH (0,4%). Posterior a 1 h de transcurrida la reacción, mantenida a temperatura ambiente y en oscuridad, se midió la absorbancia en λ 765 nm con un espectrofotómetro (GenesysTM 10S UV/Visible, Thermoelectro Corporation).

Para construir la curva de calibración se utilizó como patrón ácido gálico (≥ 98%, Sigma-Aldrich). Los resultados se expresaron en miligramos de ácido gálico equivalente cada 100 g de pulpa en base fresca (mg AGE 100 g⁻¹ pf).

2.4.7. Capacidad antioxidante total

La determinación de la capacidad antioxidante total (CAT) se realizó con las mismas extracciones obtenidas para los polifenoles totales siguiendo el procedimiento de Brand-William et al. (1995) con pequeñas modificaciones. Se 100 µL del extracto de la muestra al cual se agregó 900 µL de una solución metanólica del radical libre 1,1 difenil-2-picrilhidracilo (DPPH[•], Sigma Aldrich) en concentración 0,1 M. La incubación de la reacción fue durante 1 h en oscuridad y temperatura ambiente, midiendo inmediatamente la absorbancia en espectrofotómetro a λ 517 nm. Los resultados fueron expresados como el porcentaje de inhibición de la actividad del DPPH[•] calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{Inhibición del DPPH} \bullet (\%) = \frac{A_o - A_m}{A_o} \times 100$$

A_o absorbancia del control

A_m absorbancia de la muestra

Un valor alto del porcentaje de inhibición del radical DPPH[•] indica una mayor capacidad antioxidante del extracto.

2.5. BIOACCESIBILIDAD *IN VITRO* DE GLUCOSA Y β - CAROTENO

La bioaccesibilidad *in vitro* de la glucosa y de β -caroteno fueron determinadas en la pulpa cocida de cada cultivar y momento de conservación por triplicado con la metodología descrita a continuación.

2.5.1. Procedimiento experimental de la digestión *in vitro*

Las muestras cocidas congeladas se dejaron a temperatura ambiente durante 15 min previo a la digestión *in vitro*. El modelo de bioaccesibilidad *in vitro* de glucosa y β -caroteno de la pulpa cocida de los cultivares de boniatos y los cultivares de zapallos para cada momento de la conservación se realizó simulando la digestión de un adulto siguiendo el protocolo descrito por Zaccari et al. (2015) con algunas modificaciones. Se utilizó 15 g de pulpa cocida a la que se agregó 2,5% (p/p) de aceite doméstico de canola y DL- α -tocoferol (1% p/v, Roche) y se homogenizó con una batidora doméstica (Licuomaxir, Turbo Varimix, Fagor B455M) en función turbo por 10 s para obtener un puré. Inmediatamente se agregó 10 mL de agua desionizada con L-(+)-Ácido ascórbico (1% p/v, J.T.Baker); 0,1 mL de ácido clorhídrico (HCl 12 M, J.T.Baker) y 1 mL de solución de pepsina porcina (50 mg mL⁻¹, Sigma) en HCL 0,1 M. Se homogenizó agitando manualmente y se incubó en un baño con agua a 37° C con movimiento orbital de 140 oscilaciones min⁻¹ (New Brunswick G76D, EUA), durante 1 h. Al finalizar ésta etapa rápidamente se llevó a pH a 6 con 10 mL de solución de buffer citrato (pH 5,5) y 2 mL carbonato de sodio (NaHCO₃ 0,8 M). Se agregaron 2 mL de una preparación de pancreatina porcina (20 mg, Sigma-Aldrich), 0,1 g bilis porcina (Sigma®) en 2 mL de carbonato de sodio (NaHCO₃ 0,1 M), 0,1 mL α -amilasa (A3306, Sigma) y 30 μ L de α -amiloglucosidasa (AT7095, Sigma). Se ajustó un volumen final de 40 mL agregando agua desionizada. Inmediatamente se volvió a incubar durante 2 h en idénticas condiciones a la anterior. Al finalizar la digestión *in vitro* las muestras se colocaron en el congelador durante 10 min (-

20 °C) para detener el proceso. Finalmente se filtró con papel de filtro (Whatman No 40). El líquido de digestión filtrado se utilizó para realizar las determinaciones del contenido de glucosa y β -caroteno liberados en la digestión *in vitro*.

2.5.2. Determinación del contenido de glucosa bioaccesible *in vitro* en el líquido de digestión

El contenido de glucosa fue medido directamente en el líquido de digestión con similar procedimiento descrito anteriormente para la glucosa total de la pulpa. Los datos fueron expresados en gramos de glucosa liberada en la digestión *in vitro* en 100 g de pulpa cocida en base húmeda ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ pf}$). Se calculó además el porcentaje de glucosa bioaccesible *in vitro* con la siguiente ecuación:

$$\text{glucosa bioaccesible (\%)} = \frac{\text{glucosa en el líquido de digestión}}{\text{glucosa total en la pulpa cocida}} \times 100$$

2.5.3 Determinación del contenido de β -caroteno bioaccesibles *in vitro*

2.5.3.1. Extracción de β -caroteno del líquido de digestión

La extracción de β -caroteno del líquido de digestión se realizó de acuerdo a lo descrito por Zaccari (2010) y Zaccari et al. (2015), utilizando el procedimiento de extracción líquido: líquido. En una bola de decantación se colocó 10 mL del líquido de digestión y 3 mL de una solución de cloruro de sodio y agua destilada (NaCl 25% p/v), agregando 8 mL de etanol y 6 mL de hexano (ambos calidad HPLC) estabilizado con BTH 0,1% p/v. Se agitó fuertemente y se separó la fase acuosa (inferior) de la fase de extracción (superior). Se midió el volumen de la fase de extracción. El proceso se reiteró hasta que la fase de extracción fue incolora. Todas las extracciones fueron filtradas con filtros (Millex®-LCR 0,45 μm - 25 mm) previo a la cuantificación.

2.5.3.2 Cuantificación del contenido β -caroteno del líquido de digestión

La cuantificación de la cantidad de β -caroteno liberado luego de la digestión *in vitro* fue determinado en el líquido de digestión se realizó de igual forma a la descripta para β -caroteno total.

Se calculó además el porcentaje de β -caroteno bioaccesible *in vitro* con la siguiente fórmula:

$$\beta - \text{caroteno bioaccesible (\%)} = \frac{\beta - \text{caroteno en el líquido de digestión}}{\beta - \text{caroteno total en la pulpa cocida}} \times 100$$

2.6. PÉRDIDA DE NUTRIENTES EN LA PULPA POR LA COCCIÓN EN MICROONDAS

La pérdida de glucosa total, β -caroteno, vitamina C, fibra dietética y materia seca de la pulpa cruda por la cocción en microondas fue cuantificada para cada variable en base fresca como porcentaje del contenido en la pulpa cruda utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{pérdida por la cocción (\%)} = \frac{\text{cantidad en pulpa cruda} - \text{cantidad en pulpa cocida}}{\text{cantidad en pulpa cruda}} \times 100$$

2.7. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental fue de parcelas distribuidas en el almacenamiento completamente al azar con un arreglo factorial de tres cultivares de boniatos (Arapey, Beauregard y Cuabé) y dos cultivares de zapallos (Atlas y Maravilla del Mercado), cuatro tiempos de conservación (0, 2, 4 y 6 meses) y dos forma de preparación (cruda y cocida), con tres parcelas por tratamiento.

Se analizaron por separado los datos obtenidos para los boniatos y para los zapallo.

Los datos obtenidos para la pulpa cocida en contenido de glucosa total, β -caroteno, α -caroteno, luteína, otros carotenoides, fibra dietética, vitamina C, polifenoles totales y la capacidad antioxidante total fueron analizados, para los cultivares de boniatos o de zapallos, con un análisis de varianza (ANDEVA, $p \leq 0,05$) de dos factores comprendiendo cultivar y tiempo de almacenamiento. La comparación de medias, cuando correspondió, fue analizada con el test de Tukey *post-hoc* ($p \leq 0,05$).

Los datos obtenidos en contenido de glucosa y β -caroteno bioaccesibles *in vitro*, en la pulpa cocida de boniatos o zapallos, fueron analizadas por un ANDEVA ($p \leq 0,05$) de dos factores comprendiendo el cultivar y tiempo de almacenamiento, y cuando correspondió se realizó la comparación de medias por test de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para ver el efecto de la cocción en el contenido de glucosa total, β -caroteno, α -caroteno, fibra dietética, vitamina C, y en la materia seca en la pulpa cruda de zapallos o boniatos, los datos fueron analizados con una ANDEVA ($p \leq 0,05$) de tres factores comprendiendo el cultivar, el tiempo de almacenamiento y la forma de preparación (cruda y cocida). Se presentan los valores medios de la pulpa cruda y cocida en cada tratamiento, los efectos principales (valor p) y sus interacciones (valor p). Por último, dentro de cada cultivar y tiempo de almacenamiento se comparó el efecto de la preparación (crudo, cocido) mediante el Test de Student pareado ($p \leq 0,05$).

Los análisis estadísticos fueron procesados en el programa InfoStat (Córdoba, Argentina, 2004)/Versión 2014p. Los valores se presentan como las medias \pm error estándar.

Los resultados y discusión se presentarán en las tres secciones siguientes, correspondientes cada uno de ellos a los objetivos específicos de este trabajo.

- CONTENIDO DE ALGUNOS NUTRIENTES, POLIFENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL EN LA PULPA COCIDA DE CULTIVARES DE BONIATO Y ZAPALLOS ALMACENADOS DURANTE SEIS MESES.

- BIOACCESIBILIDAD *IN VITRO* DE GLUCOSA Y β -CAROTENO EN LA PULPA COCIDA DE DIFERENTES CULTIVARES DE BONIATOS Y DE ZAPALLOS ALMACENADOS DURANTE SEIS MESES.

- EFECTO DE LA COCCIÓN EN EL CONTENIDO DE GLUCOSA, β -CAROTENOS, VITAMINA C, FIBRA DIETÉTICA y MATERIA SECA DE LA PULPA DE DIFERENTES CULTIVARES DE BONIATOS Y DE ZAPALLOS ALMACENADOS DURANTE SEIS MESES.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CONTENIDO DE ALGUNOS NUTRIENTES, POLIFENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL EN LA PULPA COCIDA DE CULTIVARES DE BONIATO Y ZAPALLOS ALMACENADOS DURANTE SEIS MESES

El objetivo específico de este estudio fue caracterizar por el contenido de glucosa total, β -caroteno, α -caroteno, luteína, vitamina C, fibra dietética, polifenoles totales y la capacidad antioxidante total la pulpa cocida en microondas de tres cultivares de boniato y dos cultivares de zapallos conservados cero, dos, cuatro y seis meses a 14 °C y 80 % HR.

3.1.1. Contenido de glucosa total en la pulpa cocida

El contenido total de glucosa en 100 g de pulpa cocida de los cultivares de boniatos (Arapey 17,2 g; Beauregard 12,4 g; Cuabé 12,2 g) fue cuatro veces superior que los obtenidos en los cultivares de zapallos (Atlas 3,6 g, Maravilla del Mercado 3,5 g) (Figura 2).

En la pulpa cocida de *boniatos* el contenido total de glucosa dependió de la interacción ($p < 0,0001$) del cultivar y del tiempo de almacenamiento, determinándose también efecto del cultivar ($p < 0,0001$) y del tiempo de almacenamiento ($p < 0,0001$). El cultivar Arapey, en todo los momentos del almacenamiento estudiado, tuvo el mayor contenido de glucosa total en la pulpa cocida (17,2 g 100 g⁻¹) respecto a Beauregard y Cuabé, siendo estos similares entre sí (12,3 g 100 g⁻¹). El contenido de glucosa total en la pulpa cocida de los cultivares Cuabé y Beauregard disminuyó 6% y 25% respectivamente a partir del segundo mes de almacenamiento. Sin embargo, en la pulpa cocida del cultivar Arapey se observó un aumento (17%) del contenido total de glucosa en el segundo mes del almacenamiento y posteriormente se redujo un 34 % (Figura 2).

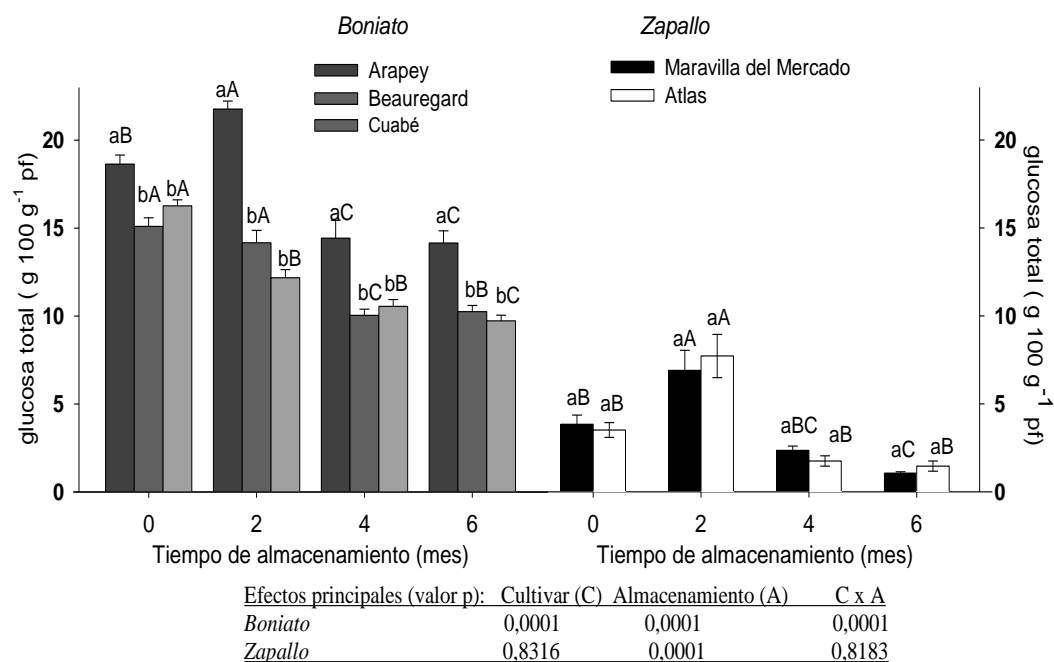


Figura 2. Contenido total de glucosa ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ pf}$) en la pulpa cocida de cultivares de *boniatos* y *zapallos* almacenados durante seis. Media \pm EE ($n = 6$). Para boniatos o zapallos, letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticas (Tukey $p \leq 0,05$) entre cultivares dentro del mismo tiempo de almacenamiento; y letras mayúsculas distintas indican diferencia estadísticas (Tukey $p \leq 0,05$) entre el tiempo de almacenamiento para el mismo cultivar.

Por su parte, en la pulpa cocida de los dos cultivares de *zapallos* el contenido total de glucosa fue similar ($3,5 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ pf}$), modificándose únicamente por efecto del tiempo de almacenamiento ($p < 0,0001$), (Figura 2). La glucosa total de la pulpa cocida para ambos cultivares de *zapallos* aumentó en el segundo mes de conservación entre 46 y 56 % y posteriormente disminuyó hasta 81 % en relación al contenido inicial de glucosa (0 mes).

El almidón es el principal componente del total de la materia seca de la pulpa de boniatos y zapallos (40 – 85%), siendo la fuente predominante de la glucosa total evaluada en nuestro trabajo (Zhang et al., 2002; Kami et al., 2011). Durante la conservación de las boniatos y zapallos varios autores reportan la

pérdida de material seca, azúcares totales y del contenido de glucosa por respiración y degradación de tejidos durante el almacenamiento poscosecha (Huang et al., 1999ab; La Bonte et al., 2000; Zhang et al., 2002; Kami et al., 2011). El menor contenido de glucosa en la pulpa de los boniatos y zapallos al avanzar el almacenamiento puede explicar en parte la reducción de glucosa total observada en la pulpa cocida durante la conservación de los cultivares evaluados.

Al mismo tiempo, otros autores determinaron diferencias en los gránulos de almidón, la cantidad y actividad de las enzimas α y β -amilasas, que probablemente expliquen las diferencias de la respuesta y velocidad de reducción del contenido de glucosa durante el almacenamiento de las raíces y frutos de los cultivares de boniatos y zapallos (Picha, 1987; Takahata et al., 1995; Irving et al., 1997; Irving et al., 1999; Zhang y Oates, 1999; Huang et al., 1999a; Zhang et al., 2002, Stevenson et al., 2005; Kami et al., 2011; Aina et al., 2012; Lai et al., 2013; Yin y Wang, 2016).

En los cultivares de zapallos el incremento de glucosa total observado en el segundo mes de almacenamiento puede deberse a la biosíntesis de glucosa, a partir de otros compuestos (celulosa, aminoácidos), y/o al gradiente de translocación desde otra parte del fruto durante el almacenamiento coincidiendo con la zona del fruto analizada en nuestro trabajo, similar a lo reportado para los frutos de otras especies de la familia de las Cucurbitaceas como melón (Scott y MacGillivray, 1940) y sandía (MacGillivray, 1947). Al mismo tiempo, la modificación de las características de los gránulos de almidón (Ek et al., 2011; Zhang et al., 2014), y/o de las paredes de la estructura celular (Phillips, 1946; Ratnayake et al., 1999) durante el almacenamiento de los frutos puede haber contribuido a una menor pérdida de glucosa en el agua de cocción en el segundo mes de almacenamiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los cultivares de boniato y zapallos evaluados, la ingesta de 100 g de pulpa cocida aportarían un equivalente a 9,5 % a 13,2 % y 2,8 % respectivamente, del total de carbohidratos requeridos diariamente en la ingesta de un adulto (IOM, 2001b).

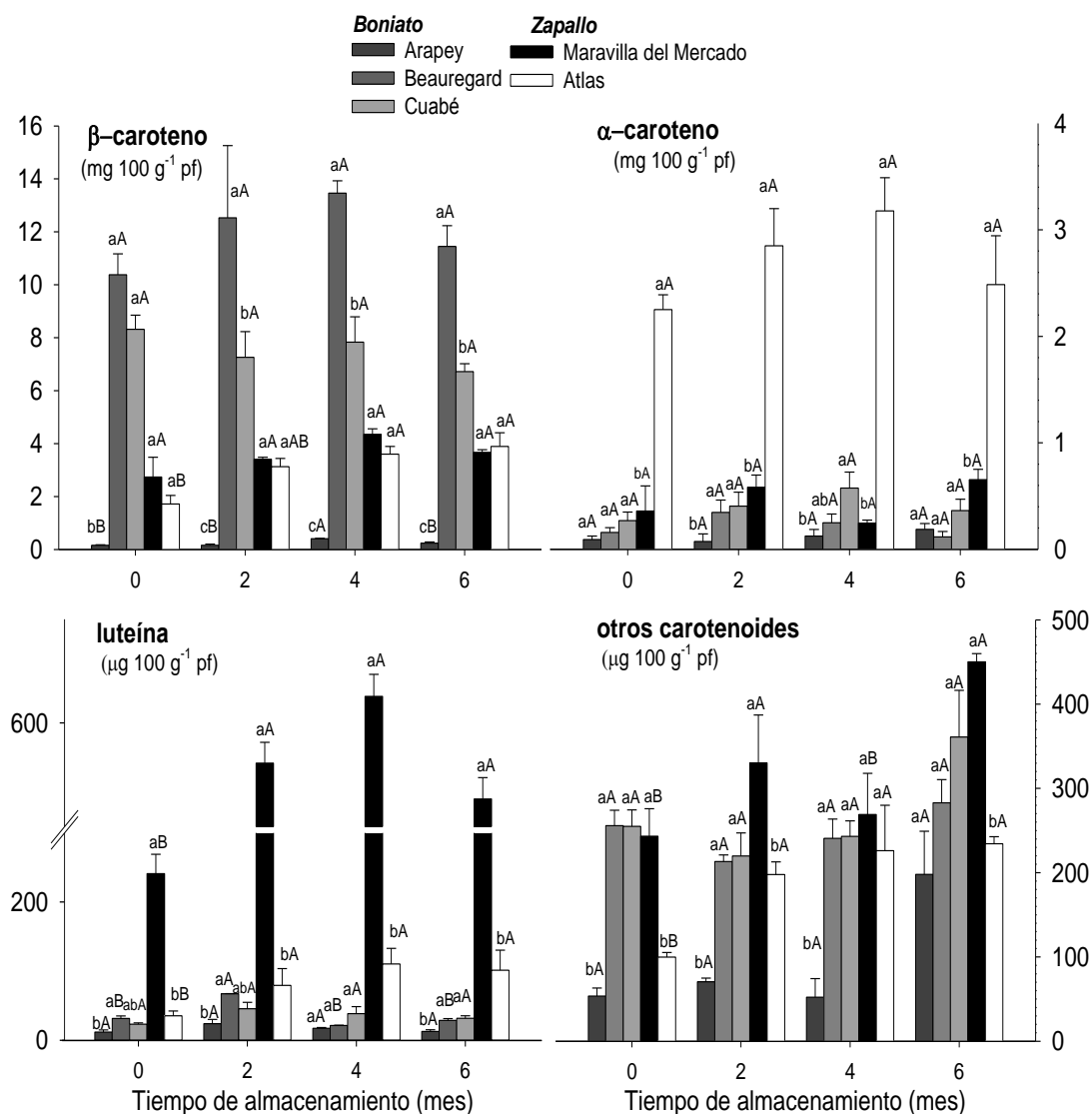
3.1.2. Contenido total de β -carotenos α -carotenos, luteína y otros carotenoides en la pulpa cocida de boniatos y zapallos

La mayor cantidad de carotenoides en 100 g de pulpa cocida de boniatos y de zapallos fueron β -caroteno (1,3 a 98,2 mg) y α -caroteno (0,75 a 28,1 mg) seguida por xantofilas como la luteína (11,8 a 625,5 μ g) (Figure 3).

En la pulpa cocida de *boniatos* se observó para los carotenoides cuantificados diferencias estadísticas entre los cultivares, mientras que el tiempo de almacenamiento afectó sólo el contenido de β -caroteno y luteína en interacción con el cultivar (Figura 3).

En los cultivares de *boniato* con pulpa de color anaranjada el contenido total de β -caroteno del cultivar Beauregard (82,3 mg 100 g⁻¹ pf) fue mayor que en Cuabé (56,7 mg 100 g⁻¹ pf), y ambos muy superiores al cultivar Arapey (1,9 mg 100 g⁻¹ pf) de pulpa color crema (Figura 3). En la pulpa cocida de los cultivares Arapey y Beauregard se observó un aumento contenido de β -caroteno, 1,4 y 0,3 veces respectivamente, en el cuarto mes del almacenamiento de las raíces a 14 °C y 80 % HR. Sin embargo este caroteno en la pulpa cocida del cultivar Cuabé no se modificó por efecto del tiempo de almacenamiento (Figura 3).

El contenido de β -caroteno en la pulpa de boniato es altamente dependiente de la variedad, con correlación positiva alta ($r > 0,80$) con el color anaranjado y anaranjado-rojo de la pulpa (Takahata et al., 1993b; Wu et al., 2008; Bengtsson et al., 2008; Burri, 2011).



Efectos principales (valor p):	Boniato			Zapallo		
	C	A	C x A	C	A	C x A
β-caroteno	0,0001	0,5241	0,5515	0,1081	0,0014	0,4162
α-caroteno	0,0004	0,2280	0,3495	0,0001	0,3142	0,1641
luteína	0,0001	0,0001	0,0174	0,0001	0,0370	0,2042
otros carotenoides	0,0061	0,1417	0,9263	0,0003	0,0075	0,2634

C = cultivar A = almacenamiento

Figura 3. Contenido total de β-carotenos (mg), α-carotenos (mg), luteína (µg) y otros carotenoides (µg) en 100 g de pulpa cocida de cultivares de *boniatos* y *zapallos* almacenados durante seis mes. Media ± EE (n = 6). Para cada carotenoide, letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticas, en pulpa de boniato o de zapallo, entre cultivares dentro del mismo tiempo de almacenamiento; y letras mayúsculas distintas entre tiempos de almacenamiento para el mismo cultivar según el test de Tukey (p ≤ 0,05).

Los resultados obtenidos en nuestro trabajo para el contenido total β -caroteno en la pulpa cocida de boniato fue superior a otros realizados en el cultivar Arapey (0,21 a 0,52 mg 100 g⁻¹ pf) y Beauregard (7,5 a 8,6 mg 100 g⁻¹ pf) con las raíces almacenadas bajo estructura tradicionales sin control de temperatura (16 ± 6 °C) ni de humedad relativa en el ambiente ($87 \pm 7\%$ HR), (Zaccari et al. 2012).

Burri (2011) en su trabajo de revisión destaca la alta variación (1100 veces) para el contenido de β -caroteno en la pulpa de boniatos, con reportes de varios autores desde 0 a 92,9 mg cada 100 g de pulpa fresca. El cultivar / variedad de boniato es uno de los factores determinantes del contenido de caroteno correlacionado con el color de pulpa anaranjada (Takahata et al., 1993ab), y este puede variar dentro y entre cultivares por efecto de las condiciones y estación de crecimiento de la raíz, el estado de madurez, momento de cosecha (Kosambo et al., 1998; Bengtsson et al., 2008; Liu et al. 2009), la temperatura de almacenamiento de las raíces (Tumuhimbise et al., 2009, Failla et al., 2009) y el proceso de preparación para su consumo (Failla et al., 2009; Bengtsson et al., 2010; Carvalho et al., 2017).

Grace et al. (2014) determinaron 25% a 50% de incremento de carotenoides en pulpa cruda de boniatos durante ocho meses de almacenamiento (15 °C and 85 % HR). Sin embargo en almacenamientos con amplitud térmica alta ($16 \text{ °C} \pm 6 \text{ °C}$) se observó incremento o reducción de carotenos dependiente del año de estudio (Zaccari et al., 2012). Al mismo tiempo, el tamaño utilizado de boniato con o sin cáscara, el tiempo y la forma de cocción del boniato influyen en la gelatinización del almidón (64 - 72 °C) dispuestos con los carotenos en los cromoamilopastos, así como en la disrupción de las paredes celulares, haciendo menos o más extraíbles a los carotenoides y/o la velocidad de isomerización, degradación, epoxidación y oxidación de los mismos (Rodríguez-Amaya, 1997; Bengtsson et al., 2008; Rodríguez-Amaya, 2010; Ek et al., 2011, Bechoff et al.,

2011; Zhang et al., 2014; Stanger, 2016; Trancoso-Reyes et al., 2016; Wang et al., 2016).

Por su lado, el contenido total de α -caroteno por cada 100 g de pulpa cocida de boniato fue similar para los cultivares Arapey (1,12 mg) y Beauregard (1,83 mg), y ambos diferentes al cuantificado en el cultivar Cuabé (3,56 mg) (Figura 3). No se observaron cambios en el contenido de α -caroteno en la pulpa cocida de estos tres cultivares por efecto del tiempo de almacenamiento ($p = 0,3277$), (Figura 3).

El contenido total de luteína en 100 g de pulpa cocidas de boniato fue similar para Beauregard (37,2 μ g) y Cuabé (34,7 μ g) mientras que Arapey presentó 45 % menor cantidad de luteína. Al mismo tiempo el contenido de luteína en la pulpa cocida de Beauregard se duplicó en el segundo mes de almacenamiento (Figura 3).

Otros carotenoides fueron cuantificados en la pulpa cocida de boniatos correspondiéndose a xantofilas como la zeaxantina y β -criptoxantina, en el cual un 64% del total de estos otros carotenoides fue la β -criptoxantina (datos no mostrados). En 100 g de pulpa cocida Arapey tuvo 94 μ g de otros carotenoides, siendo 2,5 a 3 veces menor que lo cuantificado en Beauregard (248 μ g) y Cuabé (295 μ g). El tiempo de almacenamiento no modificó ($p = 0,1417$) el contenido de estos otros carotenoides en la pulpa cocida de los cultivares evaluados (Figura 3).

Burri (2015) cita que la β -criptoxantina es un importante precursor de la vitamina A, con mayor bioaccesibilidad que α y β -caroteno, por el cual frutas y hortalizas ricas en β -criptoxantina pueden ser relevantes como fuentes de provitamina A.

En la pulpa cocida de *zapallos* se determinó similar contenido total de β -caroteno para los dos materiales genéticos evaluados, Atlas 23,2 y Maravilla del

Mercado 24,8 mg 100 g⁻¹ pf. Además para los dos cultivares se observó un aumento del contenido de β-caroteno de 55% y 70 %, en Atlas y Maravilla del Mercado respectivamente, a partir del segundo mes de almacenamiento y manteniéndose hasta el fin de la conservación (6 meses), (Figura 3).

Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos en la pulpa cruda por Souza et al., (2012) y Carvalho et al. (2015), en treinta materiales genéticos locales de calabazas de *Cucurbita moschata* del banco de germoplasma de Cucurbitáceas (Embrapa, Brasil), con 10,8 a 36,7 mg of β-caroteno equivalente cada 100 g de pulpa cruda, y 18,5 mg y 20,2 mg de β-caroteno en 100 g de pulpa hervida en agua y cocida al vapor respectivamente. Carvalho et al. (2015) determinaron una alta variación en contenido de carotenos para calabazas (*Cucurbita moschata*) con 10,7 a 65, 5 mg cada 100 g⁻¹ del peso fresco en pulpa con hervida y cocida al vapor.

Durante el almacenamiento de los frutos de zapallos hay carotenogénesis con una óptima tasa de formación de carotenos a temperaturas entre 18 – 20 °C (Zhang et al., 2014; Bonina-Noseworthy et al., 2016). El aumento del contenido de β-caroteno en la pulpa cocida puede explicarse en parte por la formación de *novo* de los carotenos durante el almacenamiento prolongado de los frutos en las condiciones de nuestro trabajo (14 °C y 80 % HR). El incremento de β-caroteno obtenido es concordante con los resultados obtenidos por Zhang et al. (2014) para tres estados de madurez de *Cucurbita moschata* almacenados por tres meses a 21 °C. Por el contrario Rahman et al. (2013) determinaron reducción de 55% del contenido de β-caroteno en 120 días de conservación de calabazas (*Cucurbita moschata*, Poir.) almacenadas en alta temperatura, 27 – 31 °C y 75 - 90% HR. La temperatura alta promueve una rápida degradación de los carotenoides al tiempo que estos se reducen por su participación en el sistema antioxidante del vegetal (Dutta et al., 2006).

Similar a lo ya mencionado para los boniatos, la porción del fruto utiliza en la muestrea, el tiempo y la forma de cocción de la pulpa de zapallo influyen en la solubilización y gelatinización del almidón contenido en los cromosomas, así como en la disrupción de las células, haciendo más extraíbles a los carotenoides y/o la velocidad de isomerización, degradación, epoxidación y oxidación de los mismos (Rodríguez-Amaya, 1997; Bengtsson et al., 2008; Ek et al., 2011; Bechoff et al., 2011; Zhang et al., 2014; Stanger, 2016).

El contenido total de α -caroteno en la pulpa cocida de las dos especies de zapallos fue distinto ($p < 0,0001$). El cultivar de zapallo Atlas del tipo butternut (*Cucurbita moschata*) tuvo 22,4 mg de α -caroteno 100 g⁻¹ pf siendo 7,4 veces mayor al obtenido en el híbrido interespecífico *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata* Maravilla del Mercado (3,0 mg 100 g⁻¹ pf), (Figura 3). El contenido de α -caroteno en la pulpa cocida de ambos tipos de zapallos aumentó a partir del segundo mes de almacenamiento ($p = 0,0208$). El contenido de α -caroteno en el cultivar Atlas aumentó 0,65 veces en el cuarto mes mientras que en Maravilla del Mercado el incremento fue de 2,5 veces en el segundo mes del almacenamiento de los frutos.

En el *contenido total de luteína* se observó lo opuesto al contenido total α -caroteno para la pulpa cocida en las dos especies de zapallos estudiados. El cultivar Atlas (81,5 μ g) presentó seis veces menos luteína que en la pulpa cocida de zapallos Maravilla del Mercado (488,5 μ g) (Figura 3). Al mismo tiempo, en ambos cultivares se incrementó hasta dos veces la luteína a partir del segundo mes de almacenamiento de los frutos.

Los resultados obtenidos indican un patrón distinto en las especies estudiadas en el cual *Cucurbita moschata* (Atlas) tiene mayor contenido de α -caroteno y menor contenido de luteína que el híbrido interespecífico *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata* (Maravilla del Mercado).

Similares patrón en la relación al contenido de α -caroteno y luteína en pulpa cruda fue obtenida por Azevedo-Meleiro y Rodríguez-Amaya (2007) y Bonina-Noseworthy et al. (2016) en diferentes especies de Cucúrbitas. Azevedo-Meleiro y Rodríguez-Amaya (2007) reportaron en 100 g de pulpa cruda 23,8 mg de α -caroteno y 18,3 mg de luteína en *Cucurbita moschata* cv ‘Gohianinha’, mientras que en la pulpa del híbrido *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata* ‘Testukabuto’ determinaron trazas ($\leq 0,02$ mg) de α -caroteno y 5,6 mg de luteína.

El α -caroteno es precursor de la luteína en su biosíntesis (Zhang et al., 2014; Stanger, 2016). La relación obtenida entre el contenido de luteína y α -caroteno analizada en pulpa cruda de distintas especies de *Cucurbita* sugiere diferencias en el contenido y/o actividad de las enzimas que catalizan el metabolismo de los carotenoides de cada cultivar. Esta relación entre estos carotenoides podría mantenerse en procesos de cocción que no degraden los carotenoides (Rodríguez-Amaya, 1997).

En otros carotenoides cuantificados en la pulpa cocida de los zapallos evaluados se identificaron la zeaxantina y violaxantina, siendo esta última xantofila el 75 % del total de estos otros carotenoides (datos no mostrados). La cantidad de éstos otros carotenoides en 100 g de pulpa cocida de zapallos fue mayor en el cultivar Maravilla del Mercado (323,2 μg) que en Atlas (129,5 μg) para todos los meses de almacenamiento de los frutos, al mismo tiempo que éstos se acumularon a partir del segundo mes de la conservación (Figura 3).

Durante el almacenamiento de los frutos a partir del β -caroteno se biosintetiza zeaxantina, siendo ésta xantofila precursor de la violaxantina (Zhang et al., 2014; Stanger, 2016). En zapallos, Azevedo-Meleiro y Rodríguez-Amaya (2007) obtuvieron resultados similares a nuestro trabajo y sugieren diferencias en puntos de control de la biosíntesis de los carotenoides que determinan la

acumulación de luteína en pulpa de la especie *Cucurbita moschata*, y de violaxantina por epoxidación de la zeaxantina en *Cucurbita maxima*.

Al igual a lo mencionado para α -caroteno y luteína, la predominancia de uno u otro carotenoide puede ser evidencia de diferentes puntos limitante en la biosíntesis (Zhang et al., 2014; Stanger, 2016) y/o estructura de los tejidos de la pulpa cruda, las características de los cromoplastos de estas dos especies de zapallos estudiados, y/o estructuras celular que permiten contener y/o retener diferencialmente los carotenoides en el proceso de cocción (Azevedo-Meleiros y Rodríguez-Amaya, 2007).

La cuantificación de vitamina A puede realizarse con la conversión de 12 mg de β -caroteno equivalente a un retino equivalente (1 RAE), y considerándose una eficiencia de conversión en vitamina A para el β -caroteno de 100 % y 50 % para α -caroteno (IOM, 2001b; Rodríguez-Amaya et al., 2010; Burri, 2011). En este sentido, la cantidad de β -caroteno y α -caroteno en 100 g de pulpa cocida de los cultivares de boniato Beauregard, Cuabé y Arapey aportarían respectivamente 6,9, 4,9 y 0,2 veces el requerimiento diario de vitamina A de un adulto, durante los seis meses de conservación de las raíces (IOM, 2001b; WHO, 2009). En similar sentido, la ingesta de 100 g de pulpa cocida de zapallos Maravilla del Mercado y de Atlas aportaría el 2,2 y 2,9 veces el requerimiento diario de vitamina A de un adulto (IOM, 2001b).

Otros carotenoides y la luteína contribuyeron en el total de carotenoides cuantificados en 100 g de la pulpa cocida de boniatos con 0,110 a 0,332 mg y en zapallo 0,271 a 0,881 mg. Estos carotenoides aunque no tienen actividad como provitamina A, a excepción de la β -criptoxantina, tienen algunos de ellos beneficios reconocidos en el mantenimiento de la salud. La luteína y zeaxantina forman parte de la mácula y retina del ojo e intervienen en la protección de la retina, así como algunas otras xantofilas son antioxidantes y contribuyen a reducir la propagación de cáncer (Bernstein et al., 2001; Biehler et al., 2012). Por tanto, la

pulpa cocida de los cultivares de boniato y zapallo estudiados además de provitamina A están contribuyendo en la dieta con otros carotenoides de interés para la salud humana.

3.1.3. Contenido de vitamina C en la pulpa cocida de cultivares de boniato y de zapallo

El contenido de vitamina C en la pulpa cocida de los cultivares boniatos fue de 19,6 a 60,9 mg AAE 100 g⁻¹ de peso fresco. El contenido de vitamina C en la pulpa de boniato fue determinada por la interacción ($p=0,0032$) entre el cultivar y el tiempo de almacenamiento, observándose también diferencias entre cultivares ($p=0,0373$) y el tiempo de conservación de las raíces ($p<0,0001$) (Figura 4).

La pulpa cocida del cultivar Arapey tuvo similar contenido de vitamina C que el cultivar Beauregard (31,9 y 34,0 mg AAE 100 g⁻¹ pf), siendo menor que el cuantificado en el cultivar Cuabé (36,4 mg AAE 100 g⁻¹ pf). El contenido de vitamina C cada 100 g de peso fresco obtenido en boniatos en nuestro trabajo fue similar a los reportados en pulpa cruda por Woolfe (1992) 17 a 35 mg de ácido ascórbico, y mayores al determinado por Hernández-Suarez et al. (2016) en 30 cultivares de las Islas Palma y Tenerife (6,7 y 20,7 mg), y por Dincer et al. (2011) en pulpa hervida y horneada (6,9 a 12,7 mg).

La vitamina C de la pulpa cocida de los cultivares de *boniato* estudiados bajó 2,3 veces (59,3 mg a 25,7 mg AAE 100 g⁻¹ pf) en los dos primeros meses del almacenamiento. Sin embargo, en el cuarto mes de la conservación se determinó un aumento de vitamina C en la pulpa cocida de boniato, con mayor contenido en los cultivares Beauregard y Cuabé, 34,8 y 40,5 mg AAE 100 g⁻¹ pf respectivamente, (Figura 4).

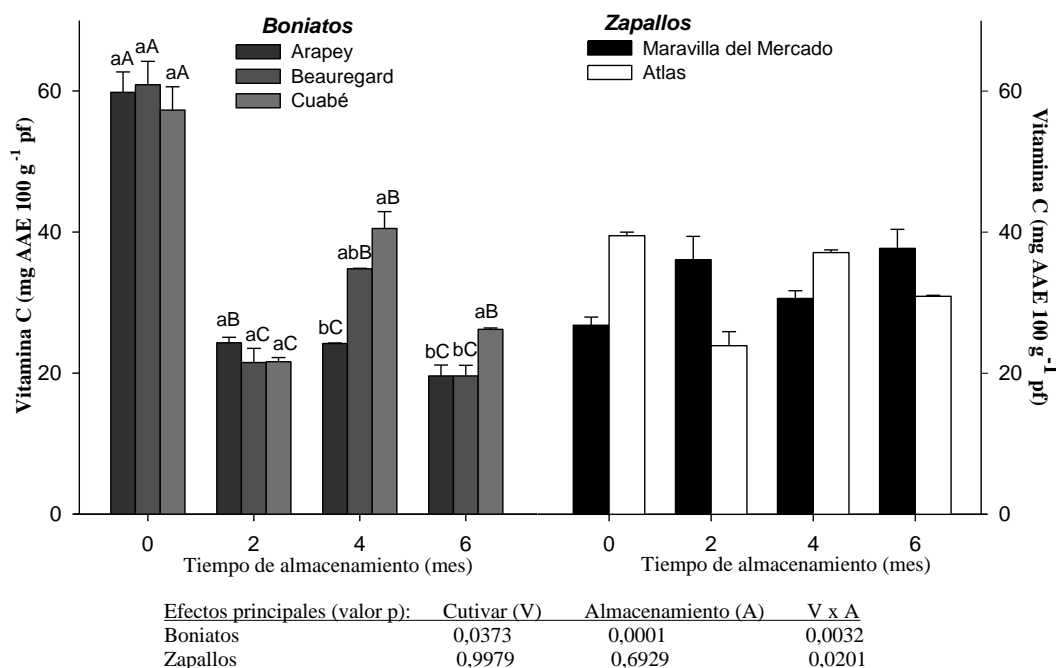


Figura 4. Contenido de Vitamina C (mg AAE 100 g⁻¹ peso fresco) en pulpa cocida de cultivares de *boniato* y *zapallos* almacenados durante seis meses. Media \pm EE (n=9). En boniatos ó zapallos, letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticas entre cultivares dentro del mismo tiempo de almacenamiento; y letras mayúsculas entre tiempos de almacenamiento para el mismo cultivar según el test de Tukey ($p \leq 0,05$). Ausencia de letra indica que no hay diferencias estadísticas.

Por su parte, en la pulpa cocida de los cultivares de *zapallos* el contenido de vitamina C fue de 23,9 a 37,8 mg AAE cada 100 g⁻¹ pf, encontrándose interacción ($p = 0,0201$) de los factores estudiados, sin efecto del cultivar ($p = 0,6929$) ni del tiempo de almacenamiento ($p = 0,9979$). En la pulpa cocida del cultivar Atlas se observó una reducción de vitamina C en el segundo mes de almacenamiento de los frutos (Figura 4). Por el contrario, Conti et al. (2015) cuantificaron en *Cucurbita moschata* [Duch.] (var. Whatham F1) contenidos de ácido ascórbico de 5,9 a 9,0 mg en 100 g⁻¹ de pulpa cruda que se incrementó durante seis meses de conservación en condiciones no controladas (14 a 18 °C y 60 a 70 % HR). Estos autores demostraron además que factores precosecha, época

de trasplante y el sistema de cultivo, también influyen en el contenido de vitamina C de estos frutos.

La vitamina C es soluble en agua, foto lábil y fácilmente se degradada por alta temperatura ($> 70\text{ }^{\circ}\text{C}$), en presencia de O_2 y/o metales pesados (Cu^{++} y Ag^{+} Fe^{+++}) y en pH alcalino (Lee y Kader 2000, Eitenmiller et al., 2008). El estrés de maduración y senescencia de los vegetales, así como el daño mecánico y/o patológico, el daño por frío (boniatos y zapallos $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$), baja concentración de O_2 ($< 3\%$) y exceso de CO_2 ($> 1\%$) provocan reducción de vitamina C en las frutas y hortalizas almacenadas (Lee y Kader, 2000; Hernández et al., 2006).

En nuestro trabajo la conservación de los boniatos y zapallos en condiciones controlada de temperatura ($14\text{ }^{\circ}\text{C}$) y HR (80%) en atmósfera normal pueden explicar en parte el mantenimiento en la pulpa de las raíces y frutos de la vitamina C durante el período de almacenamiento. La reducción de la vitamina C en la pulpa cruda de los boniatos, para los dos primeros meses de almacenamiento, podría explicarse por la finalización de reparación del periderma (curado) y acondicionamiento metabólico a las condiciones de la conservación refrigerada ($14\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Blankenship et al., 2002). Por otro lado, hay modificaciones en la estructura celular y del almidón durante el almacenamiento de boniato y frutos de zapallos (Woolfe, 1992; Kami et al., 2011) que podrían además facilitar la pérdida de la vitamina C de la pulpa en el agua durante la cocción (Rautenbach et al., 2010; Dincer et al., 2011), en mayor proporción que al inicio de la conservación.

El contenido de vitamina C obtenido en la pulpa cocida de boniato y zapallos en el período de conservación evaluado, fueron altos y similares a los reportado por Eitenmiller et al. (2008) en 100 g de pulpa fresca para naranja (50 mg), limón (53 mg) y frutilla (59 mg), Nishiyama et al. (2004) para algunas variedades de kiwi (29 a 185 mg) y por Hernández et al. (2006) en naranja (66 a 77 mg), papaya (149 – 159 mg) ananá (26 – 27 mg) y mango (40 a 70 mg).

De acuerdo a los resultados de nuestro trabajo, el consumo de 100 g de pulpa cocida en microonda de los cultivares evaluados de boniatos durante su conservación aportarían entre 25 % a 49 %, y en zapallos un 22 a 42 % de los requerimientos diarios de vitamina C recomendados para un adulto (FNB, 2000).

3.1.4. Contenido de fibra dietética en la pulpa cocida

En la pulpa cocida de los cultivares de *boniatos* evaluados el contenido de fibra fue desde 3,72 a 2,30 g 100 g⁻¹ peso fresco (Cuadro 2). El cultivar Arapey presentó el mayor contenido de fibra dietética (3,54 %), seguido de Beauregard (2,90 %) y Cuabé (2,42 %), manteniéndose en cada cultivar el contenido de fibra dietética luego de seis meses de la conservación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de fibra dietética (g 100 g⁻¹ peso fresco) en pulpa cocida de cultivares de *boniato* y *zapallos* almacenados durante 0 y 6 meses.

Almacenamiento (meses)	<i>Boniato</i>			<i>Zapallo</i>	
	Arapey	Beauregard	Cuabé	MM ^z	Atlas
0	3,72±0,19 a	3,20±0,10 b	2,30±0,03 c	3,12 ±0,15	2,85 ±0,52
6	3,35±0,25 a	2,60±0,10 b	2,55±0,05 c	3,12 ±0,11	2,54 ±0,17
Efectos principales (valor p)	Cultivar (C)		Mes (M)	C x M	
<i>Boniato</i>	0,0005		0,0622	0,0538	
<i>Zapallo</i>	0,2135		0,6185	0,6076	

^z Maravilla del Mercado. Media ± EE (n = 6). En boniatos ó zapallos, letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas entre cultivares dentro del mismo tiempo de almacenamiento. Ausencia de letras indica que no hay diferencias estadísticas (Tukey, p < 0,05).

Para los cultivares de *zapallo* en el contenido de fibra dietética de la pulpa cocida no se observaron diferencias entre cultivares (Atlas 2,70 %; Maravilla del Mercado 3,12 %) y ésta se mantuvo al igual que los boniatos, a los seis meses del almacenamiento ($p = 0,6076$).

Similar contenido de fibra dietética obtuvieron otros autores en 18 variedades de boniatos con rangos de 1,3 a 3,4 % del peso fresco (Huang et al., 1999b). Mei et al. (2010) en 10 variedades cuantificaron un 75,2 % de variación en el contenido de la fibra dietética identificando además como parte de la fibra celulosa (31,2%), lignina (16,9%), pectina (15,7%), y hemicelulosa (11,3%). Jacobo-Valenzuela et al. (2011) y Lim (2012) citan contenido de fibra dietética en pulpa de zapallos ‘Cehualca’ (*Cucurbita moschata* D.) 1,5 a 2,3 %, 0,5 % (*Cucurbita moschata*) y 2,5% (*Cucurbita maxima*). Al mismo tiempo, Kim et al. (2012) reportaron en cultivares coreanos de zapallos de diferentes especies un contenido de fibra dietética de 0,37% (*Cucurbita pepo*), 0,7% en (*Cucurbita moschata*) y 1,08 % en (*Cucurbita maxima*).

La fibra dietética, está compuesta por varias macromoléculas con diferentes propiedades físicas y químicas como la celulosa, la hemicelulosa, pectinas, ligninas, el almidón resistente y los oligosacáridos no digeribles (OIM, 2001b, Alvarez y González Sánchez, 2006; Vicente et al., 2009), y estos varían con el cultivar y las condiciones de crecimiento de raíces y frutos (Liu et al., 2009; Wang et al., 2016; Lim, 2016). Estos compuestos son más estables química y biológicamente, y durante el proceso almacenamiento de raíces y frutos probablemente se mantuvieron como parte de la estructura de la pared celular y la cocción realizada no alteró la composición.

La ingesta diaria de 100 g de pulpa de boniatos y de zapallos evaluados aportaría 9,7 a 14,2% y 10,8 a 12,5 % respectivamente de los requerimientos diarios recomendados para un adulto (FNB, 2000; IOM, 2001a; WHO, 2002).

3.1.5. Contenido de polifenoles totales en la pulpa cocida

En *boniato* el contenido de polifenoles totales fue desde 21,9 a 53,9 mg AGE cada 100 g de pulpa cocida. El contenido promedio de polifenoles totales fue en Beauregard 37,5 mg AGE 100 g de pulpa cocida seguido de Arapey y Cuabé con 33,7 y 34,2 mg AGE respectivamente. El contenido de polifenoles en la pulpa cocida fue superior en todos los cultivares de boniatos al inicio de la conservación (50,7 mg AGE) y estos disminuyeron a la mitad a partir del cuarto mes. La excepción fue el cultivar Arapey en el cual se determinó la reducción de los polifenoles totales a partir del segundo mes del almacenamiento (Figura 5).

En la pulpa cocida de *zapallos* el contenido total de polifenoles fue de 21,3 a 47,6 mg AGE cada 100 g. El contenido de polifenoles totales en la pulpa cocida del cultivar Atlas (27,9 mg 100 g⁻¹ pf) fue promediamente 32% menor al de Maravilla del Mercado (41,4 mg 100 g⁻¹ pf). El tiempo de conservación de los frutos en Maravilla del Mercado redujo un 25% el contenido de polifenoles totales en la pulpa cocida al segundo mes de la conservación. Sin embargo el contenido total de los polifenoles totales de la pulpa cocida del cultivar Atlas fue similar en todos los meses de la conservación.

Jung et al. (2011) estudiando ocho cultivares de boniato obtuvieron un 7% de pérdida de polifenoles cuando fueron horneados (200 °C 10 min) y más de un 40% hervidos (100 °C 10 min) o fritos (150 °C 20 min), seguido por cocción en microondas (1 min). Estos autores al igual que Takenaka et al. (2006), atribuyen la pérdidas de polifenoles por lixiviación, degradación de estos compuestos por la temperatura, oxidación de la enzima polifenol oxidasa y por isomerización.

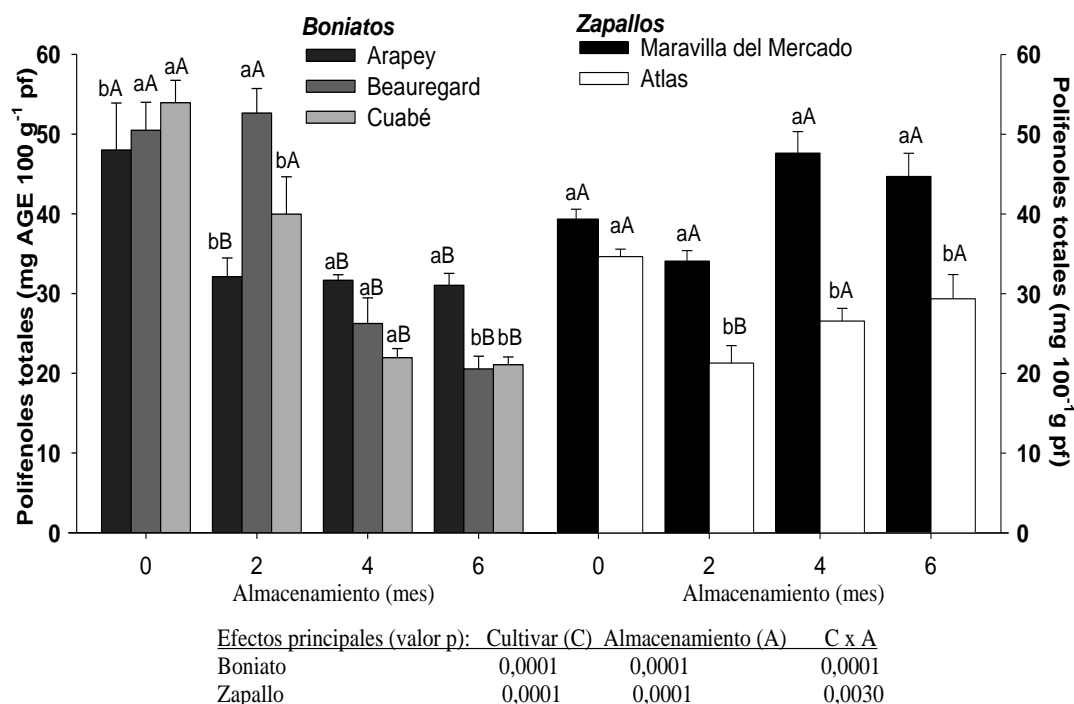


Figura 5. Contenido de polifenoles totales (mg AGE 100 g⁻¹ peso fresco) en pulpa cocida de cultivares de *boniato* y *zapallos* almacenados durante seis meses. Media \pm EE (n=9). En boniatos ó zapallos, letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticas entre cultivares dentro del mismo tiempo de almacenamiento; y letras mayúsculas entre tiempos de almacenamiento para el mismo cultivar según el test de Tukey ($p \leq 0,05$).

Dini et al. (2013) en cubos (10 g) de pulpa de zapallo tipo Delica (*Cucurbita maxima*) determinaron un contenido de polifenoles totales de 557,2 mg AGE 100 g⁻¹ en pulpa cocida en microondas (200 W, 2 min), siendo similar en la pulpa hervida (15 min), grillada (15 min), cocida al vapor (15 min) y marinadas con vinagre toda la noche, y con 19 % más de polifenoles totales que el determinado en la pulpa cruda (472,6 mg AGE 100 g⁻¹).

La cantidad de polifenoles totales obtenidos en la pulpa cocida de boniatos y zapallos en nuestro trabajo fue bajo en relación a lo reportado por otros autores,

probablemente por las diferencias de variedades evaluadas, tiempo de conservación y/o formas de preparación.

3.1.6. Capacidad antioxidante total de la pulpa cocida

La capacidad antioxidante, expresada como porcentaje de inhibición del radical DPPH•, fue mayor en la pulpa cocida de los cultivares de boniatos (22,6 %) que los cultivares de zapallo (8,1 %) evaluados (Figura 6).

En la pulpa cocida de boniatos se determinó un incremento significativo del contenido de la capacidad antioxidante en el cultivar Arapey Beauregard y Cuabé en el segundo mes de la conservación. A partir del cuarto mes de almacenamiento, para los tres cultivares de boniato la pulpa cocida bajó un 25 a 66 % la capacidad antioxidante.

En la pulpa cocida de zapallos se observó menor capacidad antioxidante en la pulpa cocida del cultivar Atlas (7,1 % inhibición) que en Maravilla del Mercado (9,2 % inhibición), aumentando 0,4 y 0,7 veces la capacidad antioxidante al final del almacenamiento de los frutos (Figura 6).

La capacidad antioxidante total expresado como porcentaje de inhibición del radical DPPH• obtenidos tanto en la pulpa cocida de boniatos y zapallos fue bajo en relación a otros autores. En parte, estas diferencias se corresponden a cultivares genéticamente distintos (Padda y Picha, 2008; Rumbaoa et al., 2009) como los boniatos de pulpa morada, con alto contenido de polifenoles en los cuales se determinó 40 a 80% de inhibición del radical DPPH• (Teow et al., 2007; Jung et al., 2011; Gao, 2017).

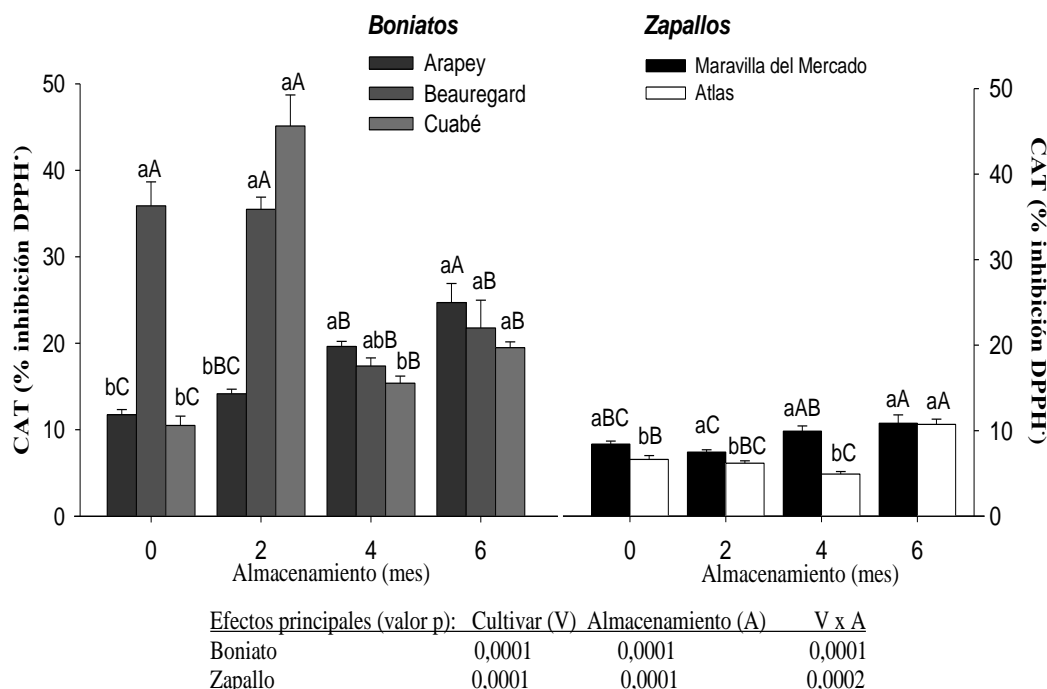


Figura 6. Capacidad antioxidante total (CAT, % inhibición del DPPH•) de la pulpa cocida de cultivares de *boniatos* y *zapallos* almacenados durante seis meses. Media \pm EE (n=9). En boniatos ó zapallos, letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticas entre cultivares dentro del mismo tiempo de almacenamiento; y letras mayúsculas entre tiempos de almacenamiento para el mismo cultivar según el test de Tukey ($p \leq 0,05$).

Un alta capacidad antioxidante de una matriz vegetal cuantificada por el ensayo del radical DPPH• esta altamente correlacionada con el contenido de los polifenoles totales y la vitamina C (Prior et al., 2003; Gülçin, 2012). En nuestro trabajo si bien el contenido de vitamina C fue alto, el contenido de polifenoles totales fue muy bajo tanto en la pulpa cocida de boniatos y zapallos. Al mismo tiempo, la capacidad antioxidante total de la pulpa cocida de boniatos y zapallos fue probablemente subvaluada por las limitantes del método utilizado para medir la capacidad antioxidante total, en el cual moléculas grandes como los carotenoides no son cuantificados (Huang et al., 2005b; Gülçin, 2012; Durazno, 2017).

3.2. BIOACCESIBILIDAD *IN VITRO* DE GLUCOSA Y β -CAROTENO EN LA PULPA COCIDA DE DIFERENTES CULTIVARES DE BONIATOS Y DE ZAPALLOS ALMACENADOS DURANTE SEIS MESES

El objetivo de este trabajo fue evaluar y cuantificar el efecto del cultivar y del tiempo de almacenamiento en la bioaccessibilidad *in vitro* de glucosa y de β -caroteno en la pulpa cocida de los tres cultivares de boniato y dos cultivares de zapallo.

3.2.1. Bioaccessibilidad *in vitro* de glucosa en la pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallo almacenados durante seis meses

La cantidad de glucosa liberada en la digestión *in vitro* en 100 g de pulpa cocida de los cultivares de boniato fue superior (6,4 g) que en los cultivares de zapallo evaluados (0,9 g).

En los cultivares de *boniato* para el contenido bioaccesible *in vitro* de glucosa no se encontró diferencias entre los cultivares con 5,1 a 8,4 g de glucosa cada 100 g⁻¹ pulpa cocida liberada en la digestión (Cuadro 3). La bioaccessibilidad *in vitro* de la glucosa en la pulpa cocida de boniato no se modificó con el tiempo de almacenamiento de las raíces (Cuadro 3).

Sin embargo, en los cultivares de zapallo la glucosa bioaccesible *in vitro* dependió de la interacción entre el cultivar y el tiempo de almacenamiento, con un marcado efecto del cultivar (Cuadro 3). En la pulpa cocida de Maravilla del Mercado se cuantificó un 42 a 69% más de glucosa bioaccesible *in vitro* que en el cultivar Atlas (0,4 a 0,8 g 100 g⁻¹ pf) durante todo el tiempo del almacenamiento de los frutos.

Cuadro 3. Glucosa total (g) liberada en la digestión *in vitro* en 100 g de pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallos almacenados 0, 2, 4 y 6 meses.

Almacenamiento (meses)	<i>Boniatos</i>			<i>Zapallos</i>	
	Arapey	Beauregard	Cuabé	Maravilla del Mercado	Atlas
0	8,4 ± 1,0	5,1 ± 0,8	5,2 ± 0,8	1,1 ± 0,03 aB	0,5 ± 0,07 bA
2	5,6 ± 0,3	5,3 ± 0,4	6,5 ± 0,6	1,4 ± 0,06 aA	0,4 ± 0,05 bA
4	6,5 ± 0,6	7,5 ± 1,4	7,3 ± 0,6	1,3 ± 0,01 aAB	0,7 ± 0,07 bA
6	7,7 ± 0,6	6,0 ± 0,7	6,2 ± 0,2	1,1 ± 0,09 aB	0,8 ± 0,12 aA
Efectos principales (valor p): Cultivar (C) Almacenamiento (A) C x A					
	<i>Boniato</i>	0,1205	0,1958	0,0676	
	<i>Zapallo</i>	0,0001	0,0542	0,0032	

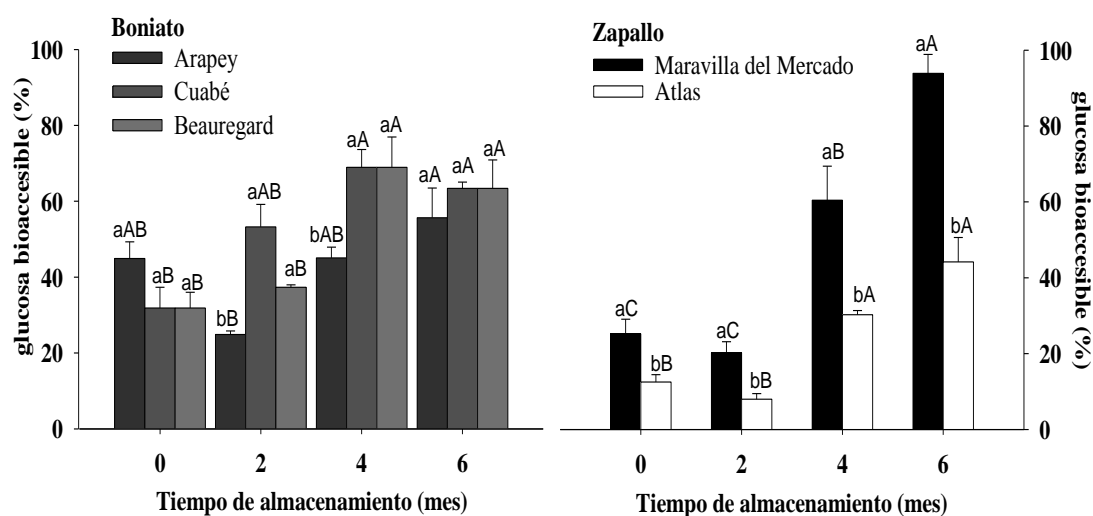
Media ± EE (n = 6). Para boniatos o zapallos, letras minúsculas en cada fila indican diferencias estadísticas (Tukey $p \leq 0,05$) entre cultivares en el mismo tiempo del almacenamiento, y letras mayúsculas entre los tiempos de almacenamiento para un mismo cultivar. Ausencia de letras indican que no hay diferencias estadísticas.

El mayor contenido de glucosa liberada en digestión *in vitro* fue en la pulpa cocida del cultivar Maravilla del Mercado (1,4 g 100 g⁻¹ pf) en el segundo mes del almacenamiento y en Atlas (0,8 g 100 g⁻¹ pf) al final del mismo (Cuadro 3).

Al avanzar el almacenamiento puede haber menor interferencia con los compuestos estructurales de la pulpa y probablemente la cocción permitió mejor acceso de las enzimas de digestión del almidón.

El porcentaje de glucosa bioaccesible *in vitro* en relación al contenido total de glucosa en la pulpa cocida de boniatos se incrementó al avanzar el tiempo de almacenamiento de las raíces (30 a 60%) (Figura 7).

En la pulpa cocida de boniatos el porcentaje de glucosa bioaccesible dependió de la interacción de cultivares y el tiempo de almacenamiento (Figura 7). Al inicio y final de la conservación el porcentaje de bioaccesibilidad de la glucosa fue similar entre los cultivares, con promedio de 37% en cosecha y 59% a los seis meses. Sin embargo en el segundo mes Cuabé tuvo el doble en porcentaje de glucosa bioaccesible que las otros cultivares (31%), (Figura 7).



Efectos principales (p valor):	Cultivar (C)	Almacenamiento (A)	C x A
<i>Boniato</i>	0,0127	0,0001	0,0131
<i>Zapallo</i>	0,0002	0,0001	0,0509

Figura 7. Porcentaje de glucosa bioaccesible *in vitro* en la pulpa cocida de cultivares de *boniatos* y *zapallos* en diferentes tiempos de almacenamiento. Las barras verticales indican la media \pm EE (n = 6). Para boniatos o zapallos, letras minúsculas en cada columna indican diferencias estadísticas (Tukey $p \leq 0,05$) entre cultivares en cada tiempo de almacenamiento, y letras mayúsculas entre diferentes tiempos de almacenamiento para un mismo cultivar.

En la pulpa cocida de los cultivares de zapallos el porcentaje bioaccesible de glucosa fue superior en el cultivar Maravilla del Mercado (50 %) que Atlas (25 %) y ésta diferencia se observó en todos los meses de la conservación. El

porcentaje de bioaccessibilidad aumentó con el tiempo de conservación un 1,5 % a 6,9% veces.

Los cambios producidos en la estructura de los granos de almidón así como la constitución y cambios de otros compuestos (fibra dietética) al avanzar el periodo de almacenamiento de las raíces, previo a la cocción, probablemente expliquen el mayor porcentaje de bioaccessibilidad de glucosa al final de la conservación tanto en la pulpa cocida de boniatos como de zapallos (Rodríguez Amaya, 2010; Senanayake et al., 2014; Kami et al., 2011, Trancoso-Reyes et al., 2016; Mennah-Govela et al., 2016). Por otro lado el tipo y propiedades de los amilocromoplastos, la composición de la fibra dietética son diferentes entre especies y variedades, y puede modificarse con el almacenamiento y en consecuencia determinar diferencias en la respuesta a la cocción y/o en la digestibilidad y bioaccessibilidad de la glucosa (Zhang y Oates, 1999; Irving et al., 1999; Stevenson et al., 2005; Oke y Workneh, 2013; Yi y Wang, 2016).

En nuestro trabajo, en los cultivares de zapallo, no se observaron diferencias en el contenido de glucosa total o de fibra dietética, sin embargo tuvieron distinta cantidad de glucosa liberada en la digestión *in vitro*. Esto puede estar evidenciando características diferentes en los gránulos y propiedades del almidón y/o composición de la fibra dietética, y de acuerdo con Picha (1987), Irving et al. (1999), La Bonte et al. (2000), Stevenson (2003) y Aina et al. (2012).

La cantidad de glucosa liberada en boniatos y zapallos fue muy baja en relación a la cantidad de carbohidratos requeridos diariamente (RDA 130 g día⁻¹) (IOM, 2001b).

En 100 g de pulpa cocida de los cultivares de boniato se cuantificó luego de la digestión *in vitro* un 7,1% del total de los requerimientos de diarios de

carbohidratos para un adulto, en tanto en los cultivares de zapallo esto correspondió sólo a un 0,66%.

En consecuencia los cultivares de boniato podrían ser utilizados como fuente de carbohidratos en la dieta de adultos sanos y deportistas con requerimiento alto de energía, mientras que la pulpa cocida de los cultivares de zapallo podrían ser recomendadas para la dieta balanceada de personas con baja tolerancia a la glucosa.

3.2.2. Bioaccesibilidad *in vitro* de β -caroteno en la pulpa cocida de cultivares de boniato y zapallo almacenados durante seis meses

La cantidad de β -caroteno liberada en la digestión *in vitro* en 100 g de pulpa cocida fue diez veces superior en los cultivares de boniato (3,31 g) que en los cultivares de zapallo evaluados (0,37 g).

La cantidad de β -caroteno bioaccesible *in vitro* del de la pulpa cocida de los cultivares de boniato y de zapallos dependió únicamente del cultivar, y esta no se modificó por el tiempo de almacenamiento de las raíces ni de los frutos (Cuadro 4).

En 100 g de pulpa cocida de boniatos de los cultivares Beauregard y Cuabé (5,05 y 4,79 mg) se obtuvo mayor cantidad de β -caroteno bioaccesible *in vitro* que en el cultivar Arapey (0,09 mg).

El cultivar Arapey en la pulpa cocida tuvo muy poco contenido total de β -caroteno (Figura 2) y mayor contenido de fibra dietética (Cuadro 2) que la pulpa cocida de Beauregard y Cuabé. Esto puede ser parte de la explicación de una menor cantidad de β -caroteno liberado en la digestión *in vitro* en Arapey frente a los otros dos cultivares.

Cuadro 4. Total de β -caroteno (mg) liberado en la digestión *in vitro* en 100 g de pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallos almacenados 0, 2, 4 y 6 meses.

Almacena- miento (meses)	<i>Boniatos</i>			<i>Zapallos</i>	
	Arapey	Beauregard	Cuabé	Maravilla del Mercado	Atlas
0	0,031 ± 0,001 b	5,26 ± 0,5 a	4,08 ± 1,4 a	0,39 ± 0,02a	0,13 ± 0,07b
2	0,076 ± 0,001 b	4,21 ± 1,8 a	3,20 ± 0,2 a	0,47 ± 0,28a	0,13 ± 0,05b
4	0,084 ± 0,006 b	5,89 ± 1,8 a	6,18 ± 1,8 a	0,97 ± 0,40a	0,21 ± 0,07b
6	0,154 ± 0,017 b	4,87 ± 1,3 a	5,72 ± 1,8 a	0,60 ± 0,15a	0,03 ± 0,004b
Efectos principales (valor p):					
	Cultivar (C)	Almacenamiento (A)		C x A	
	<i>Boniato</i>	0,0008	0,2227	0,4783	
	<i>Zapallo</i>	0,0179	0,8529	0,9931	

Media ± EE (n = 6). Para boniatos o zapallos, letras minúsculas en cada fila indican diferencias estadísticas (Tukey $p \leq 0,05$) entre cultivares en el mismo tiempo de almacenamiento. Ausencia de letras indican que no hay diferencias estadísticas.

Según Burri (2011) dentro de los factores que influyen en la efectividad de prevenir deficiencia de vitamina A con la ingesta de pulpa de boniatos el mayor impacto es la elección del cultivar (98%) con alto contenido de β -caroteno. Otros factores como las condiciones de crecimiento del cultivo, la cocción el agregado de aceite tienen un menor efecto relativo en aumentar la cantidad de β -caroteno disponible en el alimento. En el proceso de preparación del alimento es el agregado de aceite el factor que aporta más incremento (50%) en la bioaccesibilidad de β -caroteno.

Por otro lado, Mills et al. (2009) determinarib en boniatos que incrementado la cantidad de aceite (3 a 12 %) agregada a la digesta no disminuyó

la bioaccesibilidad de β -caroteno por incremento de fibra soluble (0,24 a 0,80%) en la dieta.

Berni et al. (2015) estudiando la bioaccesibilidad *trans*- β -caroteno en pulpa de boniato Beauregard y Amelia, encontraron que el porcentaje de β -caroteno liberado fue relativamente bajo (4 – 8 %) con un aumento importante de *cis*-isómeros de β -caroteno en la pulpa cocida de las variedades estudiadas. Resultados similares obtuvieron Chandler y Schwartz (1988) en pulpa del cultivar Jewel cocida en microondas en el cual por esta forma de cocción se redujo un 22,7% el contenido de β -caroteno.

En zapallos la bioaccesibilidad *in vitro* de β -caroteno de la pulpa cocida del cultivar Maravilla del Mercado fue cinco veces superior a la obtenida en Atlas (0,13 mg 100 g⁻¹ pf) en todos los momentos del almacenamiento estudiado.

El contenido total de β -caroteno y fibra dietética en la pulpa cocida de los cultivares de zapallo evaluados fue similar (Figura 2, Cuadro 2), sin embargo la cantidad de β -caroteno bioaccesible *in vitro* obtenida fue significativamente distinta entre los cultivares. Estos resultados probablemente sean consecuencia de diferencias entre las especies de los amilocromoplastos y/o del efecto diferenciado de la cocción en la pulpa de cada cultivar. Similares resultados obtuvieron Gomez Ribeiro et al. (2015) en cinco genotipo de *Cucurbita moschata* Duch. en Brasil, con menos de 4% de β -caroteno bioaccesible y una alta variación determinada por el cultivar y el proceso de cocción de cubos (~5 cm³) hervidos 5 min sin y con 60% sacarosa o al vapor 7 min.

La bioaccesibilidad de los carotenos depende de varios factores como las características de la variedad (matriz), el contenido de fibra, el tamaño de las partículas de la ingesta, la temperatura y tiempo de la cocción y la cantidad de aceite agregado a la preparación (van het Hof et al., 2000; Rodríguez-Amaya,

2010; Tumuhimbise et al., 2009; Bengtsson et al., 2009; Failla et al., 2009; Jeffrey et al., 2012; Carvalho et al., 2014).

La cocción hervida de la pulpa de boniato ha sido reportada como un método que reduce (1 a 20%) en el contenido *trans*- β - caroteno dependiendo del cultivar, por tener impacto en la isomerización aumentando la proporción la forma *cis*- β -caroteno (van Jaarsveld et al., 2006; Failla et al., 2009; Tumuhimbise et al., 2009; Islam et al., 2016). La bioaccesibilidad de β - caroteno varia con la cocción siendo menor en la pulpa cruda, seguida de pulpa horneada, cocida al vapor o hervida y frita (Bengstson et al., 2009; Burri, 2011). Tratamientos previos a la cocción aplicando en microondas o vapor en la pulpa cruda de boniatos provocan cambios en las propiedades fisicoquímicas y microestructura de la pulpa que contribuye a aumentar la bioaccesibilidad de β - caroteno (Trancoso-Reyes et al., 2016).

Por otro lado, el menor tamaño de partícula de la ingesta y mayor cantidad de aceite (2,5% a 3%) en la digestión *in vitro* aumenta de 0,5% a 7% la formación de micelas que permiten mejor acceso a las enzimas de digestión y en consecuencia mayor cantidad de β -caroteno bioaccesible en el líquido de digestión (Failla et al., 2009; Bengtsson et al., 2009; Burri, 2011; Lemmens et al., 2014; Carvalho et al., 2015).

Bengstson et al. (2010) determinaron mayor bioaccesibilidad de β -caroteno en la forma de cocción de harina cocida de boniato (50%) y en pulpa homogenizada y hervido (48%), frente a la pulpa preparada en puré y hervida (16%), todas ellas seguidas de agregado de aceite, concluyendo que la bioaccesibilidad en pulpa de boniato aumenta en los procesos de cocción que promueven la ruptura celular.

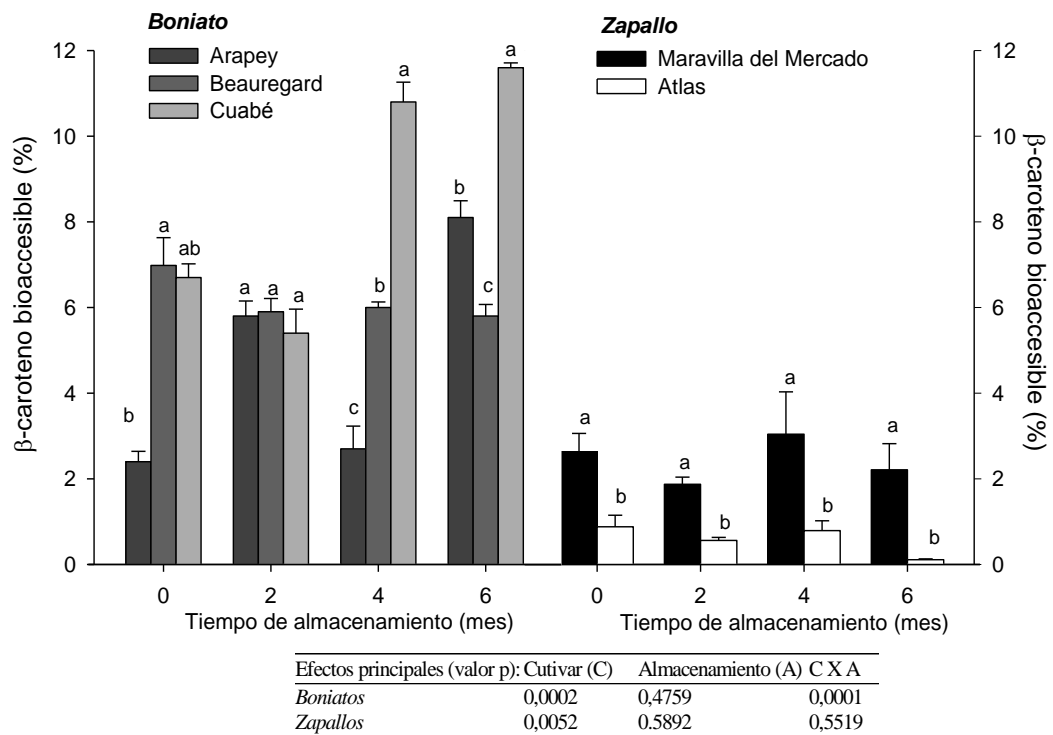


Figura 8. Porcentaje de β -caroteno bioaccesible *in vitro* en la pulpa cocida de cultivares de *boniatos* y *zapallos* en diferentes tiempos de almacenamiento. Las barras verticales indican la media \pm EE (n = 6). Para boniatos o zapallos, letras minúsculas en cada columna indican diferencias estadísticas (Tukey $p \leq 0,05$) entre cultivares en cada momento de almacenamiento.

En 100 g de pulpa cocida de boniatos de los cultivares Beauregard y Cuabé (5,05 y 4,79 mg) se obtuvo mayor cantidad de β -caroteno bioaccesible *in vitro* que en el cultivar Arapey (0,09 mg).

El cultivar Arapey en la pulpa cocida tuvo muy poco contenido total de β -caroteno (Figura 2) y mayor contenido de fibra dietética (Cuadro 2) que la pulpa cocida de Beauregard y Cuabé. Esto puede ser parte de la explicación de una menor cantidad de β -caroteno liberado en la digestión *in vitro* en Arapey frente a los otros dos cultivares.

Bechoff et al. (2011) obtuvieron mayor micelarización β -caroteno en las preparaciones de pulpa de boniato de color anaranjada que incluyeron aceite, como el chapati (pan típico de India y Pakistán) y mandazi (pan frito africano) con 73% y 49% respectivamente, respecto a las preparaciones hervidas como las gachas (16%) o puré de boniato (10%).

En nuestro trabajo el porcentaje de β -caroteno bioaccesible *in vitro* en la pulpa cocida de boniatos fue de 2,4 % a 11,6 % del contenido total de β -caroteno, mientras que en zapallos representó sólo el 0,11 a 3,0 % del contenido total de β -caroteno (Figura 8).

La cantidad de β -caroteno liberado en la digestión *in vitro* de la pulpa cocida fue muy baja en relación a la cantidad de β -caroteno total determinado en cada cultivar y para el requerimiento diariamente de un adulto (RDA 12 mg día⁻¹) (IOM, 2001b). En 100 g de pulpa cocida de boniatos los cultivares Arapey, Beauregard y Cuabé tuvieron respectivamente, una cantidad de β -caroteno bioaccesible equivalente a 0,7%, 42% y 40% del requerimiento diario recomendado de β -caroteno para un adulto. La cantidad de β -caroteno liberado en la digestión *in vitro* en 100 g de pulpa cocida de zapallo Atlas aportaría y Maravilla del Mercado se corresponden con el 3,1% 5,1 % de los RDA de β -caroteno para un adulto.

En consecuencia, los cultivares de boniato Cuabé y Beauregard podrían ser utilizados como fuente de provitamina A (β -caroteno) en la dieta de la población más vulnerable como lo son niños, embarazadas y adultos mayores, así como parte de la dieta balanceada para personas con deficiencia de vitamina A.

3.3. EFECTO DE LA COCCIÓN EN EL CONTENIDO DE GLUCOSA, β -CAROTENOS, VITAMINA C, FIBRA DIETÉTICA Y MATERIA SECA DE LA PULPA DE DIFERENTES CULTIVARES DE BONIATOS Y DE ZAPALLOS ALMACENADOS DURANTE SEIS MESES

El objetivo de este estudio fue cuantificar el efecto de la cocción en microondas en la pulpa cruda sobre el contenido de glucosa total, β -caroteno, vitamina C, fibra dietética y de la materia seca para los cultivares de boniatos y zapallos durante 0, 2, 4 y 6 meses de almacenamiento.

3.3.1. Retención del contenido de glucosa total

En la pulpa de *boniatos* la cocción en microondas determinó cambios en el contenido de glucosa total ($p = 0,0045$) dependiendo además del cultivar y tiempo de almacenamiento ($p = 0,0053$), (Cuadro 5).

El contenido de glucosa se redujo promediamente 6,4% en la pulpa de los cultivares de *boniatos* luego del proceso de cocción en microondas. La pérdida de glucosa de la pulpa cruda por la cocción en microondas es mayor en Beauregard (11%), siendo similar para Cuabé y Arapey (4%). Además, en el cuarto mes de la conservación se observó en todos los cultivares la mayor pérdida de glucosa (15 a 28%) debido al proceso de cocción (Cuadro 5).

En la pulpa de los cultivares de *zapallos* el contenido de glucosa total bajó en promedio 17% luego del proceso de cocción en microondas ($p = 0,0082$). En el cultivar Maravilla del Mercado la cocción provocó la pérdida de 58% de la glucosa contenida en la pulpa cruda al final de la conservación, mientras que en el cultivar Atlas la pérdida mayor de glucosa se observó al inicio de la misma (33%) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido total de glucosa ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ peso fresco) en la pulpa cruda y cocida y pérdida por cocción (%), en tres cultivares de boniatos y dos cultivares de zapallos en 0, 2, 4 y 6 meses.

Cultivar	Almacenamiento (mes)	Crudo	Cocido	Pérdida por cocción (%)	Valor p^z		
<i>Boniato</i>							
Arapey	0	18,9±1,2	18,6±0,5	2	0,8684		
	2	21,1±0,5	21,8±0,5	-3	0,2016		
	4	19,5±0,5	14,4±1,0	26	0,0163		
	6	12,9±0,8	14,2±0,7	-10	0,0656		
Beauregard	0	15,2±0,3	15,1±0,5	1	0,6801		
	2	16,2±0,8	14,2±0,7	12	0,0005		
	4	13,9±0,5	10,0±0,4	28	0,0001		
	6	10,7±0,5	10,3±0,4	4	0,3320		
Cuabé	0	16,2±0,6	16,3±0,3	-1	0,2872		
	2	14,4±0,2	12,2±0,5	15	0,0049		
	4	12,4±0,4	10,6±0,4	15	0,0097		
	6	8,7±0,4	9,7±0,3	-11	0,1995		
<i>Zapallo</i>							
MM	0	4,8±0,4	3,8±0,5	21	0,2409		
	2	8,7±1,4	6,9±0,4	21	0,6058		
	4	2,4±0,1	2,6±0,3	-8	0,8310		
	6	2,6±0,2	1,1±0,1	58	0,0010		
Atlas	0	5,2±0,9	3,5±0,4	33	0,1249		
	2	8,9±1,2	7,7±1,2	13	0,3691		
	4	2,3±0,1	1,8±0,3	22	0,1266		
	6	1,1±0,1	1,5±0,3	-36	0,2597		
<i>Efectos principales</i>							
	C	A	Co	C x A	C x Co	A x Co	C x A x Co
<i>Boniato</i>	0,0001	0,0001	0,0045	0,0001	0,2131	0,0001	0,0053
<i>Zapallo</i>	0,8194	0,0001	0,0082	0,6785	0,6609	0,5048	0,5056

^zTest Student (crudo,cocido) Media ± EE (n = 6)

MM Maravilla del Mercado C = cultivar A = almacenamiento Co = cocción

Las pérdidas de glucosa en la pulpa cocida de boniatos y zapallos probablemente estén vinculadas a los cambios que provoca la cocción en microondas en las estructuras celulares y particularmente en los gránulos de almidón. Los gránulos de almidón de los cubos de pulpa de boniatos y zapallos, aunque insolubles en agua, pueden difundir y permanecer en el agua de cocción. Al mismo tiempo, los gránulos de almidón de la pulpa se gelatinizan con la temperatura del agua de cocción, liberándose amilosa (soluble en al agua), y/o aumentando el volumen de los gránulos de almidón por penetración de agua entre

las moléculas de amilopectina y amilosa provocando su ruptura. La gelatinización se producen en temperaturas entre 58 y 75 °C (Hernández-Medina et al., 2008; Ek et al., 2011) por el cual se hacen más accesibles éstas moléculas a las enzimas amilasas presentes en la pulpa. La temperatura de inactivación de las principales enzimas involucradas en la lisis del almidón en la pulpa de boniatos y zapallos, α y β -amilasa, es de 70 °C a 80 °C (Hernández-Medina et al., 2008; Lim et al., 2012), temperatura superior a la obtenida en la pulpa al final de la cocción en nuestro trabajo. Por otra parte, la amilosa lixiviada puede perderse en el agua de la cocción, o puede ser retenida en la misma pulpa por gelificación al enfriarse la pulpa posterior a la cocción y/o en estructura más fibrosas de la pulpa (Ek et al., 2011; Ratnayake et al., 1999; Ratnayake et al., 2003). Las diferencias de gránulos de almidón, la relación amilosa y amilopectina del almidón, la temperatura de gelatinización y gelificación, la cantidad y actividad de las enzimas amilasa, de cada cultivar y momento del almacenamiento probablemente sean los mecanismos que expliquen las variaciones encontradas en nuestro trabajo en las pérdida y/o retención de glucosa en la pulpa cocida en microondas.

3.3.2. Retención del contenido total de *trans*- β -caroteno

En *boniatos* el contenido de *trans*- β -caroteno de la pulpa cruda se redujo pro medialmente 5% con la cocción y dependiendo del cultivar y del tiempo de almacenamiento ($p = 0,0001$) (Cuadro 6). En el cultivar Beauregard se observó la mayor de pérdida de *trans*- β -caroteno, promedio de 15% por efecto de la cocción. En cambio en Arapey y Cuabé la cocción en microondas tuvo menor impacto en la pérdida de este nutriente. En la pulpa de Arapey la cocción probablemente hizo más accesible los carotenoides determinando un aumento de 17 y 22 % al cuarto y sexto mes de la conservación de las raíces.

En la pulpa del cultivar Arapey, en concordancia con Rodríguez-Amaya (2010) y Melendez-Martínez et al. (2004), probablemente la cocción determinó mayor accesibilidad a los carotenoides aumentando la extracción de los mismos

en la pulpa cocida. Esto explicaría un 8 a 20% más de *trans*- β -caroteno en la pulpa cocida para la mayor parte de los meses de almacenamiento de los boniatos Arapey (Cuadro 6).

En zapallos también se observó una reducción (10%) del contenido de *trans*- β -caroteno de la pulpa cruda, por efecto de la cocción ($p = 0.0005$) en interacción con el cultivar y el tiempo de almacenamiento (Cuadro 6). La retención de *trans*- β -caroteno es mayor en la pulpa del cultivar Maravilla del Mercado (96%) que en Atlas (76%). En ambos cultivares se observó a los dos meses del almacenamiento la más alta retención este nutriente, 98% Maravilla del Mercado y 93% Atlas, (Cuadro 6).

Los resultados obtenidos en la retención del contenido de *trans*- β -caroteno en la pulpa cocida de boniatos y zapallos son coincidentes con los obtenidos por varios autores (Kosambo et al., 1998; van Jaarsveld et al., 2006; Zaccari et al., 2007ab; Takkar et al., 2009; Vimala et al., 2011; Gomez Ribeiro et al., 2015; Carvalho et al., 2015).

Vimala et al., (2011) determinaron en diez genotipos de boniatos de pulpa anaranjada una pérdida de caroteno dependiendo del proceso de cocción desde 21% en pulpa con método de secado al sol (48 h), 15 a 10% en pulpa hervida (100 °C 30 min), 30 a 25% en pulpa frita y 20 a 4% en pulpa horneada (50-60 °C 24 a 48 h).

Similar reducción de carotenoides por efecto de la cocción obtuvieron Islam et al. (2016) con una pérdida de 3 a 27% de β -caroteno luego de hervir la pulpa de siete cultivares de boniato, incrementándose por la cocción la cantidad del isómero *cis*- β -caroteno. Por el contrario, Carvalho et al. (2015) reportan un aumento del contenido de contenido de β -caroteno y otros carotenoides al secar pulpa de boniato a 40 a 60 °C, siendo el incremento más alto a mayor temperatura y menor tiempo (5 a 1 h) de exposición al calor.

Cuadro 6. Contenido de *trans*- β -caroteno (mg 100 g⁻¹ peso fresco) en pulpa cruda y cocida y la pérdida por cocción (%) en tres cultivares de boniatos y dos cultivares de zapallos en 0, 2, 4 y 6 meses.

Cultivar	Almacenamiento (mes)	Crudo	Cocido	Pérdida por cocción (%)	Valor p ^z		
<i>Boniato</i>							
Arapey	0	1,3±0,1	1,4±0,2	-8	0,6790		
	2	2,8±0,6	1,6±0,5	43	0,0499		
	4	2,7±0,3	3,3±0,1	-22	0,7482		
	6	1,8±0,3	2,1±0,3	-17	0,7039		
Beauregard	0	68,5±0,1	74,3±4,5	-8	0,6072		
	2	102,7±0,4	75,4±0,4	27	0,9832		
	4	142,9±5,0	106,6±2,8	25	0,1644		
	6	110,3±1,2	93,9±0,4	15	0,0768		
Cuabé	0	62,7±0,9	67,3±3,9	-7	0,6069		
	2	61,7±2,9	63,3±0,9	-3	0,8663		
	4	64,8±0,9	53,4±4,5	18	0,6321		
	6	52,3±1,9	51,7±2,3	1	0,7167		
<i>Zapallo</i>							
MM	0	10,1±0,6	14,9±1,7	-48	0,1611		
	2	25,5±0,9	25,1±0,5	2	0,5072		
	4	37,8±1,4	31,9±1,6	16	0,8431		
	6	31,8±0,6	27,1±0,8	15	0,1072		
Atlas	0	22,7±1,4	14,8±2,0	35	0,2797		
	2	24,8±1,5	23,0±1,5	7	0,5504		
	4	37,6±3,3	26,4±1,5	30	0,5797		
	6	37,8±0,3	28,5±2,2	25	0,0911		
<i>Efectos principales</i>							
	C	A	Co	C x A	C x Co	A x Co	C x A x Co
<i>Boniato</i>	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
<i>Zapallo</i>	0,1251	0,0001	0,0005	0,0001	0,0010	0,0114	0,0772

^zTest Student (crudo,cocido) Media ± EE (n = 6)

MM Maravilla del Mercado C = cultivar A = almacenamiento Co = cocción

La cocción probablemente provoca una modificación de la textura, ablandamiento de los tejidos vegetales lo que colabora a liberar y hacer más extraíble los carotenoides (Melendez-Martinez et al., 2004).

Por otra parte, en la pulpa cruda se observó un incremento de carotenoides probablemente por la biogénesis durante el período de conservación de los frutos (Zhang et al., 2014) y que al mismo tiempo las modificaciones en los

cromoamiloplastos permitieron, en sinergia con la cocción, una mayor pérdida de caroteno hacia el final de la conservación.

3.3.3. Retención del contenido de vitamina C

El contenido de vitamina C de la pulpa cruda de *boniatos* se redujo promediamente 20,0% con la cocción en microondas ($p = 0,0001$), siendo muy variable (6 a 30%) para los cultivares y tiempos de almacenamiento estudiados (Cuadro 7). El cultivar que tuvo mayor pérdida de vitamina C en la pulpa por la cocción en microondas fue Arapey (25%) seguido de Beauregard (22%) y Cuabé (13%) (Cuadro 7).

En la pulpa de *zapallos* evaluados la cocción determinó una pérdida de 11% de vitamina C en interacción con el cultivar y el tiempo de almacenamiento ($p = 0,0059$) (Cuadro 7). Para ambos cultivares de zapallo fue similar la reducción de vitamina C en la pulpa, y hacia final de la conservación (4 y 6 meses) se observó dos veces menos reducción por la cocción que al inicio de la conservación.

La vitamina C es hidrosoluble por el cual los procesos de cocción con inmersión en agua contribuyen a la pérdida de esta vitamina. Probablemente las características físicas y químicas de la pulpa de cada cultivar, el tiempo y la temperatura de cocción que provocan disrupción de las estructuras celulares, contribuyeron a liberar más fácilmente la vitamina C (Eitenmiller et al., 2008; Kami et al., 2011). La temperatura de cocción superior a 40 °C altera la cinética de degradación de la vitamina C y dependiendo de la matriz de la pulpa puede contribuir a la pérdida de este nutriente (Lee y Kader, 2000; Eitenmiller et al., 2008).

Rautenbach et al. (2010) en pulpa cruda y hervida (100 °C, 12 min) de tres cultivares de boniato registraron contenidos desde 15,5 a 32,2 mg y 8,1 a 26,7 mg de vitamina C cada 100 g de pulpa cruda y hervida respectivamente.

Cuadro 7. Contenido de vitamina C (mg AAE 100 g⁻¹ peso fresco) en pulpa cruda y cocida y la pérdida por cocción (%) en tres cultivares de boniatos y dos cultivares de zapallos en 0, 2, 4 y 6 meses.

Cultivar	Almacenamiento (mes)	Crudo	Cocido	Pérdida por cocción (%)	Valor p ^z		
<i>Boniato</i>							
Arapey	0	68,4±0,4	59,8±2,9	13	0,0203		
	2	33,5±0,5	24,3±0,8	27	0,0012		
	4	34,7±1,1	24,2±0,1	30	0,0008		
	6	28,1±1,9	19,6±1,5	30	0,0329		
Beauregard	0	80,0±3,3	60,9±3,3	24	0,0686		
	2	30,0±3,3	21,5±2,0	28	0,0225		
	4	38,3±2,4	34,8±0,1	11	0,0201		
	6	26,5±2,2	19,6±1,5	26	0,0078		
Cuabé	0	64,1±2,8	57,3±3,3	11	0,0056		
	2	27,3±3,4	21,6±0,6	21	0,0271		
	4	46,4±2,0	40,5±2,4	13	0,0126		
	6	27,9±3,1	26,2±0,1	6	0,0042		
<i>Zapallo</i>							
MM	0	32,5±0,7	26,8±1,2	18	0,0046		
	2	41,5±4,8	36,1±3,3	13	0,6525		
	4	33,4±0,5	30,6±1,1	8	0,2017		
	6	40,5±3,2	37,8±2,7	7	0,8139		
Atlas	0	41,4±2,8	39,5±0,6	5	0,4035		
	2	29,8±0,2	23,9±2,0	20	0,0646		
	4	41,5±4,8	37,3±0,4	10	0,9290		
	6	31,7±1,0	30,9±0,2	3	0,5500		
<i>Efectos principales</i>							
	C	A	Co	C x A	C x Co	A x Co	C x A x Co
<i>Boniato</i>	0,3234	0,0001	0,0001	0,0015	0,0022	0,0001	0,0059
<i>Zapallo</i>	0,3081	0,0001	0,2910	0,0001	0,1349	0,6588	0,0059

^zTest Student (crudo, cocido) Media ± EE (n = 9) MM Maravilla del Mercado

C = cultivar A = almacenamiento Co = cocida

La cocción redujo 8,0 a 54,2 % el contenido de vitamina C dependiendo de la variedad y el tratamiento de riego realizado durante el cultivo. Sin embargo resultado opuesto obtuvieron Dincer et al. (2011) en tres variedades de boniatos encontrando que la cocción hervida (100 °C, 30, 35 y 40 min) y el horneado (200 °C, 27-29 min) aumentaron entre 15 a 78% el contenido de ácido ascórbico respecto a la pulpa cruda. Probablemente, al igual que lo ya mencionada para

otros nutrientes las características del almidón, estructura celular y tejidos de cada cultivar responde diferencialmente al proceso de cocción, permitiendo extraer y/o retener el nutriente evaluado.

3.3.4. Retención del contenido de la fibra dietética

En la pulpa de *boniatos* la cocción en microondas determinó modificaciones en el contenido de fibra dietética ($p = 0,0062$) dependiendo del cultivar (Cuadro 8). La pulpa de los boniatos en promedio perdió 7% del contenido de fibra dietética por efecto de la cocción.

En la pulpa del cultivar Arapey se observó mayor pérdida de fibra dietética por la cocción (22,5%), frente a Cuabé (6,5 %), mientras que la pulpa del cultivar Beauregard la fibra dietética aumentó (8%) por efecto de la cocción. Al mismo tiempo, en la pulpa de boniatos Arapey, la reducción de la fibra dietética se duplicó a los seis meses almacenamiento.

Por su parte, en la pulpa de *zapallos* la cocción en microondas no modificó ($p = 0,6850$) el contenido de fibra dietética en ninguno de los cultivares y tiempos de almacenamiento estudiados (Cuadro 8). En cada momento del almacenamiento estudiado la cocción provocó un incremento de la fibra dietética en el cultivar Maravilla del Mercado (6 y 9 %), mientras que en el cultivar Atlas se redujo (2% y 5%) con la cocción.

Cuadro 8. Contenido de fibra dietética ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ peso fresco) en pulpa cruda y cocida y la pérdida por cocción (%) en tres cultivares de boniatos y dos cultivares de zapallos en 0, 2, 4 y 6 meses.

Cultivar	Almacenamiento (mes)	Crudo	Cocido	Pérdida por cocción (%)	Valor p^z		
Boniato							
Arapey	0	4,37±0,29	3,75±0,19	14	0,1758		
	6	4,89±0,33	3,37±0,28	31	0,0580		
Beauregard	0	2,59±0,10	3,21±0,13	-24	0,0715		
	6	2,82±0,20	2,59±0,11	8	0,4655		
Cuabé	0	2,71±0,12	2,30±0,03	15	0,0572		
	6	2,48±0,25	2,53±0,04	-2	0,7327		
Zapallo							
MM	0	2,94±0,19	3,12±0,15	-6	0,9126		
	6	2,83±0,16	3,12±0,11	-10	0,4999		
Atlas	0	2,92±0,06	2,85±0,52	2	0,5402		
	6	2,67±0,01	2,54±0,17	5	0,2739		
Efectos principales							
	C	A	Co	C x A	C x Co	A x Co	C x A x Co
<i>Boniato</i>	0,0001	0,5898	0,0062	0,4774	0,0022	0,1029	0,0551
<i>Zapallo</i>	0,1390	0,3219	0,6850	0,4967	0,3219	0,9448	0,7765

^zTest Student (crudo, cocido) Media ± EE (n = 6) MM Maravilla del Mercado
C = cultivar A = almacenamiento Co = cocción

La composición de la fibra dietética es compleja y heterogénea entre especies y cultivares, compuesta por celulosa, hemicelulosa, almidón resistente, glucanos, lignina, pectinas, mucílagos, gomas, entre otros (DeVries, 2003; Alvarez y González Sánchez, 2006; Mei et al., 2010; Dhingra et al., 2012; Vicanqui-Perez et al., 2017). Por otra parte y vinculado a la heterogeneidad de compuestos, la temperatura y tiempo de cocción pueden provocar cambios en el contenido de la fibra dietética generados por lixiviación en agua de cocción, hidratación y/o incrementado la solubilización de pectinas u otros componentes (Alvarez y González Sánchez, 2006; Dhingra et al., 2012). Phillips y Palmer (1991) en zanahoria cocida (1,25 h, 121 °C) y liofilizadas determinaron 3 a 9% de aumento en fibra dietética respecto a la cruda, explicado por una mayor

solubilización de la pectina. Las diferencias composicional de la fibra en cada especie, así como su modificación en el tiempo de almacenamiento de los zapallos y boniatos, podrían explicar las variaciones de la respuesta entre cultivares y tiempo de conservación obtenida en nuestro trabajo en la retención de fibra dietética contenida en la pulpa posterior a la cocción.

3.3.5. Retención del contenido de la materia seca

En *boniatos* el contenido de materia seca de la pulpa cruda se redujo un 5,3 % por la cocción en microondas y dependió del tiempo de almacenamiento ($p = 0,0272$). Al inicio del almacenamiento en la pulpa de los cultivar Arapey, Beauregard y Cuabé se observó mayor pérdida de materia seca, correspondiéndose a 6 a 16% del contenido de materia seca de la pulpa cruda (Cuadro 9).

En cambio, los resultados obtenidos para la materia seca en *zapallos* la cocción modificó el contenido de materia seca de la pulpa dependiendo del cultivar en interacción con el tiempo de almacenamiento ($p = 0,0238$). El cultivar Maravilla del Mercado no alteró el contenido de materia seca de la pulpa por la cocción en microondas. Sin embargo, la pulpa del cultivar Atlas redujo el contenido de materia seca 12 % en el sexto mes de la conservación (Cuadro 9).

En la pulpa de boniatos y zapallos la pérdida de materia seca debidas a la cocción puede explicarse en parte por la de glucosa total, fibra dietética, β -carotenos, vitamina C, polifenoles totales cuantificadas en este trabajo.

Cuadro 9. Contenido de materia seca ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ peso fresco) en pulpa cruda y cocida y la pérdida por cocción (%) en tres cultivares de boniatos y dos cultivares de zapallos en 0, 2, 4 y 6 meses.

Cultivar	Almacenamiento (mes)	Crudo	Cocido	Pérdida por cocción (%)	Valor p^z		
<i>Boniato</i>							
Arapey	0	33,5±0,4	28,1±0,1	16	0,0001		
	2	24,3±3,1	25,3±0,1	-4	0,6830		
	4	26,9±0,2	25,6±1,6	5	0,2694		
	6	25,3±0,5	22,6±0,4	11	0,0036		
Beauregard	0	19,8±0,8	18,6±4,5	6	0,1313		
	2	21,9±1,1	19,0±0,5	13	0,0015		
	4	20,2±0,4	20,7±0,6	-2	0,0867		
	6	18,9±0,9	18,0±0,7	5	0,0252		
Cuabé	0	23,1±0,3	20,9±0,5	10	0,0024		
	2	18,8±0,7	18,4±0,7	2	0,0535		
	4	17,9±0,6	18,9±0,7	-6	0,1404		
	6	17,6±0,8	17,4±0,8	1	0,5705		
<i>Zapallo</i>							
MM	0	9,8±0,4	9,8±0,3	0	0,3469		
	2	10,9±0,4	11,6±0,5	-6	0,0851		
	4	9,8±0,6	10,6±0,2	-8	0,0476		
	6	8,4±0,2	8,8±0,3	-5	0,0480		
Atlas	0	9,8±1,4	10,6±0,7	-8	0,8942		
	2	11,9±1,5	11,2±0,6	6	0,4466		
	4	7,6±3,3	7,9±0,1	-4	0,2796		
	6	8,5±0,3	7,5±0,5	12	0,2722		
<i>Efectos principales</i>							
	C	A	Co	C x A	C x Co	A x Co	C x A x Co
<i>Boniato</i>	0,0001	0,0001	0,0009	0,0001	0,3589	0,0272	0,2689
<i>Zapallo</i>	0,0011	0,0001	0,6731	0,0018	0,0219	0,1055	0,0238

^zTest Student (crudo, cocido) Media ± EE (n = 6)

MM Maravilla del Mercado C = cultivar A = almacenamiento Co = cocción

4. CONCLUSIONES

Los cultivares de boniato y zapallos conservados durante 0, 2, 4, y 6 meses a 14 °C y 80% HR, tuvieron en la pulpa cocida en microondas un contenido medio a alto de glucosa total, provitamina A (β -caroteno, α -caroteno), vitamina C y fibra dietética.

El tiempo de almacenamiento de las raíces de boniatos y los frutos de zapallos modificó el contenido de algunos nutrientes en la pulpa cocida, manteniéndose igual el contenido de fibra dietética. La magnitud y la dirección de los cambios dependió del nutriente y del cultivar, generándose éstos entre el segundo y cuarto mes de la conservación de los boniatos y/o zapallos.

La pulpa cocida de los cultivares de zapallos y boniatos tuvieron un interesante contenido de glucosa, aportando cada 100 g un 3 y 13 % de la ingesta diaria de carbohidratos recomendados (IOM, 2001a) lo que permite adaptarlos en dietas diferenciadas y ajustadas para cada persona.

La pulpa cocida de los tres cultivares de boniatos estudiados, Arapey Beauregard y Cuabé pueden ser recomendados en dietas que requieren alta demanda de glucosa y/o ingestas pequeñas con alto contenido de energía, mientras que los cultivares de zapallo a partir del cuarto mes de almacenamiento podría ser considerado en la dieta para reducir peso y/o en individuos con poca tolerancia a la glucosa.

Al mismo tiempo, los cultivares de boniato Beauregard y Cuabé de pulpa anaranjada presentaron en la pulpa cocida en microondas muy alto contenido de provitamina A (α y β -carotenos). Estos cultivares y la pulpa cocida de los cultivares de zapallo Atlas y Maravilla del Mercado se pueden considerar muy buenas fuentes de provitamina A, y este potencial se incrementa al segundo y cuarto mes de la conservación de raíces y frutos a 14 °C y 80% HR.

La pulpa cocida de boniatos y zapallos estudiados contienen además otros carotenoides como zeaxantina y cryptoxantina, que también contribuyen a mantener la salud humana.

Todos los cultivares de boniato y zapallo tuvieron un buen contenido de vitamina C y fibra dietética en la pulpa cocida durante todo el tiempo de almacenamiento estudiado, cubriendo al menos la cuarta y décima parte respectivamente de los requerimientos diarios de un adulto (IOM, 2001abc).

Los zapallos Maravilla del Mercado (*Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*) y Atlas (*Cucurbita moschata*) presentaron una relación marcadamente distinta de β caroteno y α -caroteno, y α -caroteno y luteína caracterizando el patrón de carotenoides de estos cultivares. En la pulpa cocida de Atlas α -caroteno contribuye con la tercera parte de la provitamina A mientras que Maravilla del Mercado se destacó por el contenido de luteína.

A pesar de que la cocción en microondas determinó en la pulpa de boniatos y zapallos en general una reducción de 5 % a 20% de los nutrientes cuantificados, la pulpa cocida de los cultivares estudiados mantuvo buen contenido de los principales nutrientes evaluados en relación a la ingesta requerida diariamente por un adulto.

La bioaccesibilidad *in vitro* de glucosa de la pulpa cocida de boniatos fue muy superior en boniatos que en zapallos, y la cantidad de glucosa liberada en la digestión *in vitro* sólo se incrementó con el tiempo de almacenamiento en Maravilla del Mercado. Por tanto esta información, puede ser de utilidad en la definición de dietas particularmente en individuos con baja tolerancia a la glucosa.

La bioaccesibilidad *in vitro* de β -caroteno de la pulpa cocida de boniatos y zapallos fue baja (0,11 a 12%), tanto en boniatos como en zapallos, en relación al contenido total en la pulpa de cada cultivar, y no se modificó en ningún caso con el tiempo de almacenamiento.

Los cultivares de boniato Beauregard y Cuabé, con muy alto contenido total de β -caroteno, presentaron la mayor cantidad de este nutriente liberado en la digestión *in vitro* por el cual pueden ser considerados estos cultivares en dietas que deban fortificar el aporte de provitamina A en individuos que sean tolerantes a nivel alto de glucosa en sangre.

Este trabajo permitió caracterizar la pulpa cocida en microondas por el contenido de glucosa total, β -caroteno, α -caroteno, luteína, vitamina C, fibra dietética, y de polifenoles totales y por la capacidad antioxidante total por ensayo del DPPH•, a los cultivares de boniato Arapey, Beauregard y Cuabé y de zapallos Maravilla del Mercado y Atlas en seis meses de conservación refrigerada (14°C y 80% HR). Además se determinó la retención en la pulpa cocida en microondas de estos nutrientes y la bioaccesibilidad *in vitro* de la glucosa y β -caroteno, siendo los primeros reportes realizados para estos cultivares y tiempos de almacenamiento en nuestro país.

5. **BIBLIOGRAFÍA**

- Adams GG, Imran S, Wang S, Mohammad A, Kok S, Gray DA, Channell GA, Morris GA, Harding SE. 2011. The hypoglycaemic effect of pumpkins as anti-diabetic and functional medicines. *Food Research International*, 44: 862 – 867.
- Aina AJ, Falade KO, Akingbala JO, Titus P. 2012. Physicochemical Properties of Caribbean Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) Starches. *Food Bioprocess and Technology*, 5: 576 – 583.
- Alós E, Rodrigo MJ, Zaccarias L. 2016. Manipulation of carotenoid content in plants to improve human health. [En línea]. En: Stange C (Eds.). *Carotenoids in nature. Subcellular Biochemistry*, vol 79. Biosynthesis, Regulation and Function. Springer, Cham. p 311 – 345. 8 diciembre 2016. https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy:88/chapter/10.1007/978-3-319-39126-7_12
- Alvarez E, González Sánchez P. 2006. La fibra alimentaria. *Nutrición Hospitalaria*, 21 (supl L2): 61 – 72.
- AOAC (Association Official Analytical Chemists). 1990. Method 985.29. Total dietary fiber in food. Enzymatic-gravimetric method. En: Helrich K. (ed.) *Arlington, VA., USA. Official Methods of Analysis of the Association Official Analytical Chemists*. 15th ed. 1230 pp.
- Arima HK, Rodríguez-Amaya DB. 1990. Carotenoid composition and vitamin A value of a squash and a pumpkin from northeastern Brazil. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 40: 284 – 92.
- Arima HK, Rodríguez-Amaya DB. 1988. Carotenoid composition and vitamin A value of commercial Brazilian squashes and pumpkins. *Journal of Micronutrient Analysis*, 4: 177 – 191.
- Arnao MB. 2000. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. *Trends in Food Science and Technology*, 11: 419 – 21.

- Asplanud K. 2002. Antioxidant vitamins in the prevention of cardiovascular disease: a systematic review. *Journal of Internal Medicine*, 252: 372 – 392.
- Azevedo-Meleiro CH, Rodríguez-Amaya D. 2007. Qualitative and quantitative differences in carotenoid composition among *Cucurbita moschata*, *Cucurbita maxima*, and *Cucurbita pepo*. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 55: 4027 – 4033.
- Azizah AH, Wee KC, Azizah O, Azizah M. 2009. Effect of boiling and stir frying on total phenolics, carotenoids and radical scavenging activity of pumpkin (*Cucurbita moschato*). *International Food Research Journal*, 16: 45 – 51.
- Balasaheb S, Dilipkumar N. 2015. Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *Royal Society of Chemistry Advances*, 5: 27986–28006.
- Balasundram N, Kalyana S, Samman S. 2006. Phenolic compounds in plant and agri-industrial by-products: antioxidants activity, occurrence, and potential uses. *Analytical Nutritional and Clinical Methods, Food Chemistry*, 99: 191 – 203.
- Bates DM, Robinson RW, Jeffrey C. 1990. *Biology and utilization of the Cucurbitaceae*, Ithaca and London : Cornell University. 485 pp.
- Bechoff A, Poulaert M, Tomlins KI, Westby A, Menya G, Young S, Dhuique-Mayer C. 2011. Retention and bioaccessibility of β -carotene in blended foods containing orange-fleshed sweet potato flour. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 59 (18):10373 – 10380.
- Bengtsson A, Brackmann C, Enejder A, Larsson Alminger M, Svanberg U. 2010. Effects of Thermal Processing on the in Vitro Bioaccessibility and Microstructure of β -Carotene in Orange-Fleshed Sweet Potato. *Journal Agricultural Food and Chemistry*, 58 (20): 11090 – 11096.
- Bengtsson A, Larson Alminger M, Svanberg U. 2009. In vitro bioaccessibility of beta carotene from heat processed orange freshed sweet potato. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 57: 9693 – 9698.
- Bengtsson A, Namutabi A, Larson Alminger M, Svanberg U. 2008. Effects of various traditional processing methods on the all-trans- β -carotene content

- of orange-fleshed sweet potato. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21: 134 – 143.
- Berni P, Chitchumroonchokcha C, Canniatti-Brazaca SG, De Moura FF, Failla ML. 2015. Comparison of Content and In vitro Bioaccessibility of Provitamin A Carotenoids in Home Cooked and Commercially Processed Orange Fleshed Sweet Potato (*Ipomea batatas* Lam). *Plant Foods and Human Nutrition*, 70: 1 – 8.
- Bernstein PS, Khachik F, Carvalho LS, Muir GJ, Zhao DY, Katz NB. 2001. Identification and quantitation of carotenoids and their metabolites in the tissues of the human eye. *Experimental Eye Research*, 72: 215 – 223.
- Biehler E, Alkerwi A , Hoffmann L, Krause E , Guillaume M , Lair M-L, Bohn. 2012. Contribution of violaxanthin, neoxanthin, phytoene and phytofluene to total carotenoid intake: Assessment in Luxembourg. *Journal of Food Composition and Analysis*, 25: 56 – 65.
- Blanco-Metzler A, Tovar J, Fernández-Piedra M. 2004. Caracterización nutricional de los carbohidratos y composición centesimal de raíces y tubérculos tropicales cocidos, cultivados en Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54 (3): 322 – 327.
- Blankenship SM, Boyette MD. 2002. Root epidermal adhesion in five sweetpotato cultivars during curing and storage. *HortScience*, 37 (2): 374 – 377.
- Blessing AC, Ifeanyi M L, Chijioke OB. 2011. Nutritional evaluation of some Nigeria pumpkins (*Cucubita* spp.). *Fruit Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 5 (2): 65 – 71.
- Bonina-Noseworthy J, Loy B, Currant-Celentano J, Sideman R, Kopsell D. 2016. Carotenid concentration and composition in winter squash: variability associated with different cultigens, harvest maturities and storage times. *HortScience*, 51 (5): 472 – 480.
- Bovell-Benjamin AC. 2007. Sweet potato: A review of its past, present, and future role in human nutrition. *Advances in Food and Nutrition Research*, 52: 1 – 59.

- Brand-William W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie*, 28: 25 – 30.
- Bravo L. 1998. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56: 317 – 333.
- Britton G. 1998. Overview of carotenoid biosynthesis. En: Britton G, Liaaen-Jensen S., Pfander, H. (Eds.). *Biosynthesis and Metabolism*. Birkhäuser Verlag, Basel, 13 – 148.
- Bureau S, Mouhoubi S, Touloumet L, Garcia C, Moreau F, Valerie B, Renard CMGC. 2015. Are folates, carotenoids and vitamin C affected by cooking? Four domestic procedures are compared on a large diversity of frozen vegetables. *LW -Food Science and Technology*, 64: 735 – 741.
- Burri B. 2015. β -cryptoxanthin as a source of vitamin A. *Journal of Science and Food Agricultural*, 95: 1786 – 1794.
- Burri B. 2011. Evaluating sweet potato as an intervention food to prevent vitamin A deficiency. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10: 118 – 130.
- Cantwell M, Suslow TV. 1998. Pumpkins and winter squashes. Recommendations for maintaining postharvest quality. *Perishables Handling Quarterly*, 94: 15 – 16.
- Carbonell-Capella JM, Buniowska M, Barba FJ, Esteve MJ, Frígola A. 2014. Analytical Methods for Determining Bioavailability and Bioaccessibility of Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13: 155 – 171.
- Cardoso C, Afonso C, Lourenço, H, Costa S, Nunes ML. 2015. Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk benefit evaluation of food. *Trends Food Science and Technology*, 41, 5 – 23.
- Carocho M, Ferreira ICFR. 2013. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 51: 15 – 25.

- Carvalho LMJ, Dellamora Ortiz GM, Viana de Carvalho JL, Smirdele L, y F. de Souza Neves Cardoso F. 2017. Carotenoids in yellow Sweet potatoes, pumpkins and yellow Sweet Cassava. [En línea] En: Cvetkovic DJ, Nocolic GS (Eds). Biochemistry, Genetics and Molecular Biology. Carotenoids. Intech. p 176 – 188. 5 setiembre 2017. <https://www.intechopen.com/books/carotenoids/carotenoids-in-yellow-sweet-potatoes-pumpkins-and-yellow-sweet-cassava>
- Carvalho LMJ, Viana de Carvalho JL, Estigarribia RM, Faustino B, I. Maroto Kaser I, Gomes Lima V, Silva Feijó de Sousa D. 2015. Variability of Total Carotenoids in *C. moschata* Genotypes. Chemical Engineering Transactions, 44: 247 – 252.
- Carvalho LMJ, Azevedo Sarmet Moreira Smiderle L, Viana de Carvalho JL, Souza Neves Cardoso F, Bello Koblitz MG. 2014. Assessment of carotenoids in pumpkins after different home cooking conditions. Food Science and Technology (Campinas), 34 (2): 365 – 370.
- Carvalho LMJ, P. Barros Gomes, R. L. de Oliveira Godoy, S. Pacheco, P. H. Fernandes do Monte, J. L. Viana de Carvalho, M. Regini Nutti, A. C. Lima Neves, A. C. Rodrigues Alves Vieira, S. R. Ramalho Ramos. 2012. Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of landrace pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A preliminary study. Food Research International, 47: 337 – 340.
- Chandler LA, Schwartz SJ. 1988. Isomerization and losses of trans- β -carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments. Journal Agricultural Food Chemistry, 36 (1): 129 – 133.
- Chavez AL, Bedoy JM, Sánchez T, Iglesias C, Ceballos H, Roca W. 2000. Iron, carotene, and ascorbic acid in cassava roots and leaves. Food and Nutrition Bulletin, 21: 410 – 413.
- Choi YJ, Tomás-Barberán FA, Saltveit ME. 2005. Wound-induced phenolic accumulation and browning in lettuce (*Lactuca sativa* L.) leaf tissue is reduced by exposure to n-alcohols. Postharvest Biology and Technology, 37: 47 – 55.

- Cilla A, Bosch L, Barberá R, Alegría A. 2017. Effect of processing on the bioaccessibility of bioactive compounds – a review focusing on carotenoids, minerals, ascorbic acid, tocopherols and polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis*, *In Press*: 1 –7 p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.009>
- Clevidence B, Inke Paetau I, Smith JC. 2000. Bioavailability of Carotenoids from Vegetables. *HortScience*, 35: 585 – 588.
- Clevidence BA, Bieri JG. 1993. Association of carotenoids with human plasma lipoproteins. *Methods Enzymology*, 214: 33 – 46.
- Conti S, Villar G, Amico E, Carusso G. 2015. Effects of production system and transplanting time on yield, quality and antioxidant content of organic winter squash (*Cucurbita moschata Duch*). *Scientia Horticulturae*, 183: 136 – 143.
- De Ancos, B, Sanchez-Moreno, Plaza, L,; Cano, M,P. 2011. Nutrition and Health Aspects of Fresh-Cut vegetables. En: Martín-Belloso O, Soliva R (Eds). *Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing*. London New York: Taylor &Francis Group CRC Press (Food Preservation series). 145-184.
- de Pee S, West CE, Permaesih D, Martuti S, Muhilal H. 1998. Orange fruit is more effective than are dark-green, leafy vegetables in increasing serum concentrations of retinol and β -carotene in schoolchildren in Indonesia. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 68: 1058 – 67.
- Deepak M, Sheweta B. 2013. Compositional properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61: 1 – 6.
- DeVriers JW. 2003. On defining dietary fiber. *Proceeding Nutrition Society*, 62: 37 – 43.
- Dhingra D, Michael M, Rajput H, Patil RT. 2012. Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49: 255 – 266.
- Dincer C, Karaoglan M, Erden F, Tetik N, Topuz A, Ozdemir F. 2011. Effects of baking and boiling on the nutritional and antioxidant properties of sweet

- potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam,] cultivars. *Plant Foods and Human Nutrition*, 66(4): 341 – 347.
- Dini I, Tenore GC, Dini A. 2013. Effect of industrial and domestic processing on antioxidant properties of pumpkin pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 53: 382 – 385.
- Donado-Pestana C, Salgado J, Oliveira Rios A, Santos P, Jablonski A. 2012. Stability of carotenoids, total phenolics and in vitro antioxidant capacity in the thermal processing of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam,) cultivars grown in Brazil. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67: 262 – 270.
- Duarte TL, Lunec J. 2005. Review: When is an antioxidant not an antioxidant? A review of novel actions and reactions of vitamin C. *Free Radical Research*, 39(7): 671 – 86.
- Durazno A. 2017. Study Approach of Antioxidant Properties in Foods: Update and Considerations. *Foods*, 6 (3): 1 – 17.
- Dutta D, Chaudhuri UR, Chacraborty R. 2006. Effect of thermal treatment on the b carotene content, colour and textural properties of pumpkin. *Journal Food Science and Technology*, 43 (6): 607 – 611.
- EFSA (European Food Safety Authority). 2010. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Carbohydrates and Dietary Fiber. *EFSA Journal*, 8, 1462: 1 – 77.
- Eitenmiller RR, Ye L, Landen WO Jr. 2008. Ascorbic acid : Vitamin C. En: Eitenmiller RR, Ye L, Landen WO Jr. (Eds.) *Vitamin analysis for the health and food sciences*. New York: CRC Press. 662 pp.
- Ek KL, Brand-Miller J, Copeland L. 2011. Glycemic effect of potatoes. *Food Chemistry*, 133 (4): 1230 – 1240.
- Englyst KN, Englyst HN, Hudson GJ, Cole TJ, Cummings JH. 1999. Rapidly available glucose in foods: an *in vitro* measurement that reflects the glycemic response. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69 (3): 448 – 454.
- Englyst HN, Cummings JH. 1987. Digestion of polysaccharides of potato in the small intestine of man. *American Journal of Clinical Nutrition*, 45: 423 – 31.

- Failla ML, Takkara SK, Kim JK. 2009. In vitro bioaccessibility of beta- carotene in orange fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas*, Lam.). *Journal Agricultural Food Chemistry*, 5: 10922 – 10927.
- FAOSTAT. 2016. Data. Production. [En línea]. 19 setiembre 2016. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fitzpatrick WTB, Basset GJC, Borel P, Carrari F, DellaPenna D, Fraser PD, Hellmann H, Osorio S, Rothan C, Valpuesta V, Caris-Veyrat C, Ferniej AR. 2012. Vitamin Deficiencies in Humans: Can Plant Science Help?. *The Plant Cell*, 24: 395 – 414.
- FNB [Food and Nutrition Board, Institute of Medicine]. 2000. Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium and Carotenoids. Washington DC: National Academy Press vitamin C. 95 – 185. [En línea] 26 marzo 2016. <https://www.nap.edu/read/9810/chapter/7>
- Fraser PD, Bramley PM. 2004. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Research*, 43 (3): 228 – 265.
- Frei B. 1995. Cardiovascular disease and nutrient antioxidants: role of low-density lipoprotein oxidation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35(1-2): 83 – 98.
- Fu C, Shi H, Li Q. 2006. A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. *Plant Foods Human Nutrition*, 61: 73 – 80.
- Gao Y. 2014. Antioxidant Activities and Phenolic Acids in Different Raw and Boiled Potatoes and Sweet Potatoes. [En línea]. LSU Master's Theses. 3849. Louisiana State University, USA. 62 pp. 30 junio 2017. http://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_theses/3849
- García-Méndez AD, Pérez-Darniz, MY, García-Méndez AA, Madriz-Iztúriz PM. 2016. Caracterización Postcosecha y composición química de la batata (*Ipomoea batatas* (L.) variedad Topera. *Agronomía Mesoamericana*, 27 (2): 287 – 300.
- Grace MH, Yousef GG, Gustafson SJ, Truong V-D, Yencho GC, Lila MA. 2014. Phytochemical changes in phenolics, anthocyanins, ascorbic acid, and

- carotenoids associated with sweetpotato storage and impacts on bioactive properties. *Food Chemistry*, 145: 717 – 724.
- Gimenez G, González M, Rodríguez G, Vicente E, Vilaró F. 2014. Catálogo de cultivares hortícolas, 2014. [En línea] Montevideo Uruguay, INIA. 25 mayo 2014. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4590/1/Catalogo-cultivares-hortícolas-2014.pdf>
- Goldman I L, Kader AA, Heintz C. 1999. Influence of Production, Handling, and Storage on Phytonutrient Content of Foods. *Nutrition Review*, 57 (9): 46 – 52.
- Gomez Ribeiro EM, Chitchumroonchokchai C, Jaeger de Carvalho MJ, de Moura FF, Viana de Carvalho JL, Failla ML. 2015. Effect of style of home cooking on retention and bioaccessibility of pro-vitamin A carotenoids in biofortified pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.). *Food Research International*, 77 (3): 620-626.
- González E, Montenegro MA, Nazareno MA, López de Mishima BA. 2001. Carotenoid composition and vitamin A value of an Argentinian squash (*Cucurbita moschata*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(4): 395 – 399.
- González, H.; Ferreira, V. 2014. Características morfológicas y agronómicas del nuevo cultivar de boniato Baqueano FAGRO/CRS. p 7. En: Libro de resúmenes del XIII Congreso Nacional de Hortifruticultura (SUHF), 2014. Montevideo, Uruguay. 10 agosto 2017. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3812/1/13o.Congreso-Hortifruticultura-libro-de-resmenes-sept2014.pdf>.
- Gülçin I. 2012. Antioxidante activity of food constituents: an overview. *Archive Toxicology*, 86: 345 – 391.
- Hernández-Suárez M, Montes Hernández AI, Rodríguez Galdón B, Hernández Rodríguez L, Medina Cabrera CE, Ríos Mesa D, Rodríguez-Rodríguez EM, Díaz Romero C. 2016. Application of multidimensional scaling technique to differentiate sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)

- cultivars according to their chemical composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 46: 43 – 49.
- Hernández-Medina M, Torruco-Uco JG, Chel-Guerrero Luis, Betancur-Ancona D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28 (3): 718 – 726.
- Hernández Y, Lobo MG, González M. 2006. Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry*, 96 (40): 654 – 64.
- Huang YC, Chang Y H, Shao Y Y. 2005a. Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan. *Food Chemistry*, 98: 529 –538.
- Huang D, Ou B, Prior RL. 2005b. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal Agricultural of Food Chemistry*, 53: 1841 – 1856.
- Huang YH, Picha DH, Kilili AW, Johnson CE. 1999a. Changes in invertase activities and reducing sugar content in sweetpotato stored at different temperatures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47: 4927 – 4931.
- Huang AS, Tanudjaja L, Lum D. 1999b. Content of Alpha-, Beta-Carotene, and Dietary Fiber in 18 Sweetpotato Varieties Grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 12 (2): 147 – 151.
- INASE (Instituto Nacional de Semillas). Registro Nacional de Cultivares Cultivos Hortícolas. [En línea]. 15 diciembre 2016. <http://www.inase.uy/files/docs/419D7E0C93267896.pdf>
- IOM (Institute of Medicine). 2001a. Dietary reference intakes proposed definition of dietary fiber. Washington, DC, USA. Food and Nutrition Board, National Academy Press, 74 pp.
- IOM (Institute of Medicine). 2001b. Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Washington, DC, USA. Food and Nutrition Board, National Academy Press. 1332 pp.
- IOM (Institute of Medicine). 2001c. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese,

- Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington DC, USA. Food and Nutrition Board, National Academy Press. 798 pp.
- Irving DE, Shingleton GJ, Hurst PL. 1999. Starch degradation in buttercup squash (*Cucurbita maxima*). *Journal of American Society for Horticultural Science*, 124 (6) 587 – 590.
- Irving DE, Hurst PL, Ragg JS. 1997. Changes in carbohydrates and carbohydrates metabolizing enzymes during the development, maturation and ripening of buttercup squash (*Cucurbita maxima* D., 'Delica'). *Journal of American Society for Horticultural Science*, 122: 310 – 314.
- Islam NS, Nusrata T, Beguma P, Ahsanb M. 2016. Carotenoids and β -carotene in orange fleshed sweet potato: A possible solution to vitamin A deficiency. *Food Chemistry*, 199: 628 – 631.
- Jacobo-Valenzuela N, Maróstica-Junior MR, Zazueta-Morales J, Gallegos-Infantes J. 2011. Physicochemical, technological properties, and health-benefits of *Cucurbita moschata* Duchense vs, Cheualca A Review. *Food Research International*, 44: 2587 – 2593.
- Jeffrey J, Holzenburg A, King S. 2012. Physical barriers to carotenoid bioaccessibility. Ultrastructure survey of chromoplast and cell wall morphology in nine carotenoid-containing fruits and vegetables. *Journal of the Science and Food of Agriculture*, 92 (13): 2594 – 2602.
- Jenkins DJA, Cyril WC, Kendall,LSA, Augustin, Franceschi AS, Hamidi M, Marchie A, Jenkins AL, Axelsen M. 2002. Glycemic index: overview of implications in health and disease. *American Journal Clinical Nutrition*, 76 (suppl): 266S – 73S.
- Ji H, Zhang H, Li H, Hao L. 2015. Analysis on the Nutrition Composition and Antioxidant Activity of Different Types of Sweet Potato Cultivars. *Food and Nutrition Sciences*, 6: 161 – 167.
- Jung J-K, Lee S-U, Kozukue N, Levin CE, Friedman M. 2011. Distribution of phenolic compounds and antioxidative activities in parts of sweet potato (*Ipomoea batata* L.) plants and in home processed roots. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24: 29 – 37.

- Kami D, Muro T, Sugiyama K. 2011. Changes in starch and soluble sugar concentration in Winter squash mesocarp during storage at different temperatures. *Scientia Horticulturae*, 127: 444 – 446.
- Kim MY, Kim EJ, Kim Y-N, Choi C, Lee Bog-H. 2012. Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (Cucurbitaceae) species and parts. *Nutritional Research and Practice*, 6 (1): 21 – 27.
- Kimura M, Kobori CN, Rodríguez-Amaya D, Nestel P. 2007. Analytical, Nutritional and Clinical Methods, Screening and HPLC methods for carotenoids in sweetpotato, cassava and maize for plant breeding trials. *Food Chemistry*, 100: 1734 – 1746.
- Kiokias S, Gordon MH. 2004. Antioxidant properties of carotenoids In Vitro and In Vivo. *Foods Reviews International*, 20 (2): 99 – 121.
- Kosambo LMH, Carey EE, Misra AK, Wilkes J, Hagenimana V. 1998. Influence of Age Farming Site and Boiling on Pro-Vitamin A content in Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) Storage Roots. *The Journal of Food Technology in Africa*, 4: 77 – 84.
- Krinsky NI, Johnson EJ. 2005. Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 26: 459 – 516.
- Krinsky NI. 2001. Carotenoids as antioxidants. *Nutrition*, 17: 815 – 817.
- La Bonte DL, Picha DR, Hester A, Johnson HA. 2000. Carbohydrate-Related Changes in Sweetpotato Storage Roots during Development. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 125: 200 – 204.
- Lai YC, Huang CL, Chan CF, Lien, CY, Liao WC. 2013. Studies of sugar composition and starch morphology of baked sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). *Journal of Food Science and Technology*. 50: 1193 – 1199.
- Lee SK, Kader AA. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 207 – 220.

- Lemmens L, Colle I, Buggenhout SV, Palmero P, Loey AV, Hendrickx M. 2014. Carotenoid bioaccessibility in fruit- and vegetable-based food products as affected by product (micro) structural characteristics and the presence of lipids: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 38, 125 – 135.
- Lim TK. 2016. *Ipomoea batatas*. [En línea]. Modified Stems, Roots, Bulbs Volumen 10. p 92 -171. *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*, Springer link. 5 mayo 2016. https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy:88/content/pdf/10.1007%2F978-94-007-1764-0_41.pdf
- Lim TK. 2012. *Cucurbita moschata*. [En línea]. *Fruits*. Volumen 2. p 266 – 280. *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*, Springer link. 5 mayo 2016. https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy:88/content/pdf/10.1007%2F978-94-007-1764-0_41.pdf
- Liu SC, Lin JT, Yang DJ. 2009. Determination of cis- and trans- α - and β -carotenoids in Taiwanese sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) harvested at various times. *Food Chemistry*, 116: 605 – 610.
- MacGillivray JH. 1947. Soluble solids content of different regions of watermelons. *Plant Physiology*. 22: 637-640.
- Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal Clinical Nutrition*, 79 (5): 727 – 747.
- Marlett JA, Michael RD, McBurney I. 2002. Position of the American Dietetic Association: Health Implications of Dietary Fiber. *Journal of the American Dietetic Association*, 102 (7): 993 – 1000.
- Maurer MM, Mein JR, Chaudhuri SK, Constant HL. 2014. An improved UHPLC-UV method for separation and quantification of carotenoids in vegetable crops. *Food Chemistry*, 165: 475 – 482.
- Mei X, Mu T-M, Huan J-J. 2010. Composition and Physicochemical Properties of Dietary Fiber Extracted from Residues of 10 Varieties of Sweet Potato by a

- Sieving Method. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 58 (12): 7305 – 7310.
- Melendez-Martinez AJ, Vicario IM, Heredia FJ, 2004. Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54 (2): 209 – 215.
- Mennah-Govela, Y.A.; Bornhorst, G.M. 2016. Acid and moisture uptake in steamed and boiled sweet potatoes and associated structure changes during in vitro gastric digestion. *Food Reserach International*. 88, 247 – 255.
- MGAP-CAMM (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Comisión Adminsitradora del Mercado Modelo). 2013a. Boniato. Situación y perspectiva 2013. Observatorio Granjero. Informe Técnico. [En línea]. 25 mayo 2014. http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=5202b75a-5460-4e34-8684-788d1dd3dce1&groupId=10157
- MGAP-CAMM (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Comisión Adminsitradora del Mercado Modelo). 2013b. Cebolla, boniato y zapallo. Análisis y perspectiva. Observatorio Granjero. Informe Técnico [En línea]. 25 mayo 2014. http://,mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=b8359eab-d6ae-4d3f-9040-8a2b812b9c90&gro\upId=10157
- MGAP-DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca-Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2016. Anuario Estadístico 2016. [En línea]. Consultado 10 agosto 2016. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-diea/anuario2016>
- Mills JP, Tumuhimbise GA, Jamil KM, Thakkar SK, Failla ML, Tanumihardjo SA. 2009. Sweet potato β -carotene bioefficacy is enhanced by dietary fat and not reduced by soluble fiber intake in Mongolian gerbils. *Journal of Nutrition*, 139: 44 – 50.

- Mohanraj R, Sivasankar S. 2014. Sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam) a valuable medicinal food: a review. *Journal of Medicinal Food*, 17(7): 733 – 741.
- Mudgil D, Barak S. 2013. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61: 1 – 6.
- Musilová J, Bystrická J, Árvay J, Harangózo L. 2017. Polyphenols and phenols and phenolic acids in sweet potato (*Ipomoea batatas*, L) roots. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 11 (1): 82:87.
- Nacz M, Shahidi F. 2004. Extraction and analysis of phenolic in food. *Journal of Chromatography A*, 1054: 95 – 111.
- Niki E, Kawakami J, Yamamoto R, Kamiya Y. 1982. Regeneration of Vitamin E from a-chrianoxyl radical by glutathione and vitamin C. *Chemistry Letters*, 27 (6): 789 – 792.
- Nisar N, Li L, Lu S, Khin NC, Pogson BJ. 2015. Carotenoid metabolism in plants. *Molecular Plant*, 8: 68 – 82.
- Nishiyama I, Yamashita Y, Yamanaka M, Shimohashi A, Fukuda T, Oota T. 2004. Varietal difference in Vitamin C content in the fruit of kiwifruit and other *Actinidia* species. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 52 (17): 5472 – 5475.
- Oke MO, Workneh TS. 2013. A review on sweet potato postharvest processing and preservation technology. *African Journal Agricultural Research*, 8 (40): 4990 – 5003.
- Oloyede FM. 2012. Growth, yield and antioxidant profile of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) leafy vegetable as affected by NPK compound fertilizer. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12 (3): 379 – 387.
- Padda MS, Picha DH. 2008. Quantification of phenolic acids and antioxidant activity in sweetpotato Genotypes. *Scientia Horticulturae*, 119 (1): 17 – 20.
- Palomo I, Gutierrez M, Astudillo L, Rivera C, Torres C, Guzmán L, Moore-Carrasco R, Carrasco G, Alarcín M. 2009. Efecto antioxidante de frutas y

- hortalizas de la zona central de Chile. *Revista Chilena de Nutrición*, 36 (2): 152 – 158.
- Pandey S, Singh J, Upadgyay K, Ram D, Rai, M. 2003. Ascorbic and carotenoid content in an Indian collection of pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch, ex Poir). *Cucurbit Genetics Cooperative Report*, 26: 51 – 53.
- Paris, HS. 1994. Genetic Analysis and Breeding of Pumpkins and Squash for High Carotene Content. En: Linskens HF, Jackson JF (Eds.). *Modern Methods of Plant Analysis*, vol 16. Berlín, Heidelberg, Springer. e-book (Vegetables and Vegetable Products). p 93 – 115. 29 marzo 2015. https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy:88/chapter/10.1007/978-3-642-84830-8_5
- Pelletier O, Brassard R. 1977. Determination of Vitamin C (L-ascorbic acid and dehydroascorbic acid) in food by manual and automated photometric methods. *Journal of Food Science*, 42: 1471 – 1477.
- Peters A, Schweiger U, Pellerin L, Hubold L, Oltmanns KM, Conrad M, Schultes B, Born J, Fehm HL. 2004. The selfish brain: competition for energy resources. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 28: 143 – 180.
- Phillips KM, Council-Troche McA , McGinty RC, Rasor AS, Tarrago-Trani MT. 2016. Stability of vitamin C in fruit and vegetable homogenates stored at different temperatures. *Journal of Food Composition and Analysis*, 45: 147 – 162.
- Phillips KM, Palmer JK. 1991. Effect of freeze-drying and heating during analysis on dietary fiber in cooked and raw carrots. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 39 (7): 1216 – 1221.
- Phillips TG. 1946. Changes in the composition of squash during storage. *Plant Physiology*, 21: 533 – 541.
- Picha DH. 1987. Carbohydrates changes in sweet potatoes during curing and storage. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 111: 89–92.
- Picha DH. 1985. Crude Protein, Minerals, and Total Carotenoids in Sweet Potatoes. *Journal of Food Science*, 50: 1768 – 1769.

- Pietta PG. 2000. Flavonoid as antioxidants. *Journal Natural Products*, 63(7): 1035 – 1042.
- Prior RL, Wu X, Schaich K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (10): 4290 – 302.
- Prior RL, Hoang H, Gu L, Wu X, Bacchiocca M, Howard L, Odill M, Huang D, Ou B, Jacob R. 2003. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance capacity (ORAC)) of plasma and other biological and food samples. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 51: 3273 – 3279.
- Prior RL, Gouhua C. 2000. Antioxidant Phytochemicals in Fruits and Vegetables: Diet and Health Implications. *HortScience*, 35 (4): 588 – 592.
- Priori D, Valduga E, Villela JCB, Mistura CC, Vizzotto M, Valgas RA, Barbieri RL. (2016). *Food Science and Technology (Campinas)*, 37 (1): 33 – 40.
- Procházková D, Bousova I, Wilhelmová N. 2011. Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids. *Fitoterapia*, 8: 513 – 523.
- Purcell AE, Sistrunk WA. 1985. Sweet Potatoes: Effects of Cultivar and Curing on Sensory Quality. En: E Pattee, HE (Eds.), *Avaluation of Quality of Fruits and Vegetables*, VI Publishing Co., Springer, Dordrech, p 257-276.
- Rabelo G, Díaz WJ. 2012. Enfermedades no transmisibles, Tendencias actuales. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 13(2): 50 – 54.
- Rahman MA, Miaruddin M, Khan MHh, Masud MAT, Begum MM. 2013. Effect of storage periods on postharvest quality of pumpkin. *Bangladesh Journal Agricultural Reseach*, 38 (2): 247 – 255.
- Rao AV, Rao LG. 2007. Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55: 207 – 216.
- Ratnayake RMS, Melton LD, Hurst PL. 2003. Influence of Cultivar, Cooking, and Storage on Cell-Wall Polysaccharide Composition of Winter Squash (*Cucurbita maxima*). 2003. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 51 (7): 1904 – 1913.

- Ratnayake RMS, Hurst PL, Melton LD. 1999. Texture and the cell wall polysaccharides of buttercup squash 'Delica' (*Cucurbita maxima*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 27: 133 – 143.
- Rautenbach F, Faber M, Laurie S, Laurie R. 2010. Antioxidant capacity and antioxidant content in roots of 4 sweetpotato varieties. *Journal Food Science*, 75(5)C: 400 – 405.
- Riby LM, Law A,S, Mlaughlin J, Murray J. 2011. Preliminary evidence that glucose ingestion facilitates prospective memory performance. *Nutrition Research*, 31: 370 – 377.
- Robinson WR, Walters-Decker DS. 1997. *Cucurbits*. Wallingford, Oxon, UK, New York, NY: CAB International, CAB (c1997). 226 pp.
- Rodríguez-Amaya D. 2010. Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids—A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23: 726 – 740.
- Rodríguez-Amaya D.1997. Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored food. USAID, OMNI Project. Arlington Va.: John Snow Inc. 88 pp.
- Rouseff RL, Sadler GD, Putnam TJ, Davis JE. 1992. Determination of α -carotene and other hydrocarbon carotenoids in red grapefruit cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40: 47 – 51.
- Scalbert A, Manach C, Morand C, Remesy C, Jimenez, L. 2005. Dietary polyphenols and the prevention of disease. *Critical Review Food Science Nutrition*, 45: 287 – 306.
- Schaffert RR, Kingsley GR. 1955. A rapid, simple method for the determination of reduced, dehydro-, and total ascorbic acid in biological material, *The Journal of Biological Chemistry*, 212: 59 – 68.
- Schneeman BO. 1998. Dietary fiber and gastrointestinal function. *Nutrition Research*, 18 (4): 625 – 632.
- Scholz S, Williamson G. 2007. Interactions affecting the bioavailability of dietary polyphenols in vivo. *International Journal Vitamin Nutrition Research*, 77 (3): 224 – 235.

- Scott GW, MacGillivray JH. 1940. Variation solids of the juice from different regions in melon fruits. *Hilgardia*, 13: 69-79.
- Senanayake S, Gunaratne A, Ranaweera KDS, Bamunuarachchi A. 2014. Effect of heat-moisture treatment on digestibility of different cultivars of sweet potato (*Ipomea batatas* (L.) Lam) starch. *Food Science and Nutrition*, 2: 398 – 402.
- Seroczynska A, Antczak A, Kortowska M, Kaminska K, Radomski A, Kprzeniewska A, Zawadzki J, Niemiewicz-Szczytt K. 2014. Evaluation of select forms of winter squash (*Cucurbita maxima*, Duch,) for the content of free sugars and polysaccharides. *Polish Journal Agronomy*, 16: 69 – 73.
- Singh J, Kaur L, Morgan P. 2012. Importance of chemistry, technology and nutrition in potato processing. *Food Chemistry, Special Issue Section: Advances in Potato Chemistry, Nutrition and Technology*, 133 (4): 1091 – 1672.
- Smith MA, Riby LM, Foster JK. 2011. Glucose enhancement of human memory: A comprehensive research review of the glucose memory facilitation effect. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35: 770 – 783.
- Southon S, Faulks, R. 2003. Carotenoids in food: bioavailability and functional benefits, Chapter 7, pp 117 - 127. En: *Phytochemical Functional Foods*, Johnson, I.T. (Editor), Cambridge, GBR: Woodhead Publishing, Limited.
- Souza CD, Menezes JDS, No Ramos DC, Assis JGA, Silva SR, Druzian JI. 2012. Carotenoides totais e vitamina A de cucurbitáceas do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Semiárido. *Ciência Rural*. Santa Maria, 42: 926 – 933.
- Stanger C. 2016. Carotenoids in Nature: Biosynthesis, Regulation and Function. Stanger C (Ed.). Springer, e-Book (Subcellular Biochemistry 79). 455 pp. 10 diciembre 2016. <https://link-springer-com.proxy.timbo.org.uy:88/book/10.1007/978-3-319-39126-7>
- Steed LE, Truong VD. 2008. Anthocyanin Content, Antioxidant Activity, and Selected Physical Properties of Flowable Purple-Fleshed Sweetpotato Purees, *JFS S: Sensory and Food Quality*, 73 (5): 215 – 221.

- Stevenson DG, Yoo SH, Hurst PL, Jane J. 2005. Structural and physicochemical characteristics of winter squash (*Cucurbita maxima* D.) fruit starches at harvest. *Carbohydrate polymers*, 59 (2): 153 – 163.
- Stevenson DG. 2003. Role of starch structure in texture of winter squash (*Cucurbita maxima* D.) fruit and starch functional properties. Retrospective Theses and Dissertations. 1465. Iowa State University. Ames, Iowa. USA. 513 pp.
- Takahata Y, Noda T, Sato T. 1995. Changes in carbohydrates and enzyme activities of sweet potato lines during storage. *Journal Agricultural of Food. Chemistry*, 43: 1923 – 1929.
- Takahata Y, Noda T, Nagata T. 1993a. HPLC determination of beta-carotene content of sweet potato cultivars and its relationship with color values. *Japaneses Journal Breed*, 43: 421 – 427.
- Takahata Y, Noda T, Nagata T. 1993b. Varietal differences in chemical composition of the sweet potato storage root. *Acta Horticulturae*, vol. 343: 77 – 80.
- Takenaka M, Nanayama K, Isobe S., Murata M. 2006. Changes in caffeic acid derivatives in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during cooking and processing. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 70: 172 – 177.
- Tarrago-Trani T, Phillips KM, Cotty M. 2012. Matrix-specific method validation for quantitative analysis of vitamin C in diverse foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 26: 12 – 25.
- Teow CC, Truong VD, McFeeters RF, Thompson RL, Pecota KV, Yencho GC. 2007. Antioxidant activities, phenolic and beta-carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chemistry*, 103: 829 – 838.
- Tomás-Barberán FA. 2003. Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 10 (2): 41 – 53.
- Tong Szeto Y, Tomlison B, Benze IFF. 2002. Total antioxidante and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: implication for dietary planning and food preservation. *British Journal Nutrition*, 87: 55 – 59.

- Trancoso-Reyes N, Ochoa-Martinez LA, Bello-Perez L, Morales-Castro R, Estevez-Santiago R, Olmedilla-Alonso B. 2016. Effect of pre-treatment on physicochemical and structural properties and the bioaccessibility of beta-carotene in sweet potato flour. *Food Chemistry*, 200: 199 – 205.
- Tumuhimbise GA, Namutebi A, Muyonga JH. 2009. Microstructure and in vitro beta-carotene bioaccessibility of heat-processed orange-fleshed sweet potato. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64: 312 – 318.
- Ulrich-Merzenich G, Zeitler H, Vetter H, Kraft K. 2009. Synergy research: Vitamins and secondary plant components in maintenance of the redox-homeostasis and in cell signaling, *Phytomedicine*, 16: 2 – 16.
- Valdez LB, Arnaiz SL, Bustamante J, Alvarez S, Costa LE, Boveris A. 2000. Free radical chemistry in biological systems. *Biological Research*, 33: 65 – 70.
- Valpuesta V, Botella MA. 2004. Biosynthesis of L-ascorbic acid in plants, new pathways for an old antioxidant, *Trends in Plant Science*, 9: 573 – 577.
- van het Hof, KH, West CE, Weststrate JA, Hautvast JGAJ. 2000. Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *The Journal of Nutrition*, 130: 503 – 506.
- van Jaarsveld PJ, Marais De Wet M, Harmse E, Nestel P, Rodríguez-Amaya DB. 2006. Retention of β -carotene in boiled, mashed orange-fleshed. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 321 – 329.
- van Jaarsveld PJ, Faber M, Tanumihardjo SA, Nestel P, Lombard CJ, Spinnler Benadé AJ. 2005. β -Carotene-rich orange-fleshed sweet potato improves the vitamin A status of primary school children assessed with the modified-relative-dose-response test. *American Journal Clinical Nutrition*, 8(5): 1080 – 1087.
- Venn BJ, Green TJ. 2007. Glycemic index and glycemic load: measurement issues and their effect on diet-disease relationships. *European Journal Clinical Nutrition*, 61 (S1): 22 – 31.
- Vicente E, Ares G, Rodríguez G, Varela P, Bologna F, Lado J. 2017. Selection of promising sweet potato clones using projective mapping. *Journal of the Science of Food and Agricultural*, 97: 158 – 164.

- Vicente E, Rodríguez G, Vilaró F, Spina W, Gonzalez M, Pereira G, Lado J, Picos C. 2010. El cultivar de boniato Cuabé, Hoja de divulgación No 101, INIA-Las Brujas – Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate, Montevideo, Uruguay, INIA. 2 pp.
- Vicente AR, Manganaris GA, Sozzi GO, Crisosto CH. 2009. Nutritional aquality in fruits and vegetables. Chapter 5. En: Florkowski WJ, Shewfelt RL, Brueckner B, Prussia SE, (Eds.). Postharvest Handling: A Systems Approach. USA: Academic Press. 57 – 106 pp.
- Vilaró F, Rodríguez G, Vicente CE, Spina W. 2007. Jornada de divulgación Cultivo de Boniato, Material de plantación: cosecha y poscosecha. Programa de Investigación de Producción Hortícola, Serie de Divulgación N° 493, Las Brujas – Estación Experimental Wilson Ferreira Aldunate, Montevideo, Uruguay, INIA. 14 pp.
- Vilcanqui-Pérez F, Vílchez-Perales C. 2017. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. Archivos Latinamericanos de Nutrición, 67: 146 – 156.
- Vimala B, Nambisan B, Hariprakash B. 2011. Retention of carotenoids in orange-fleshed sweet potato during processing. Journal Food Science and Technology. 48 (4): 520 – 524.
- Vishwanathan R, Neuringer M, Snodderly DM, Schalch W, Johnson EJ. 2012. Macular lutein and zeaxanthin are related to brain lutein and zeaxanthin in primates. Nutritional Neuroscience, 16 (1): 221 – 229.
- Walter W, Purcell MA.E., McCollum GK. 1979. Use of high-pressure liquid chromatography for analysis of sweet potato phenolics. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 27: 942–946.
- Wang S, Nie S, Zhu F, 2016. Chemical constituents and health effects of sweet potato. Food Research International, 89 (1): 90 – 116.
- Wang SY. 2013. Postharvest for wealth and health. Acta Horticulturae (ISHS), 1012: 785 – 796.

- Waterhouse AL. 2002. Determination of total phenolics, En: Current Protocols in Foods Analytical Chemistry. Wrolstad RE (Ed) Units I, pp 11,1,1–11,1,8, New York, NY, USA. John Wiley & Sons.
- WHO (World Health Organization). 2009. Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995–2005. Global Database on Vitamin A Deficiency. Geneva, Switzerland. World Health Organization. 68 pp.
- WHO (World Health Organization). 2002. Overview - Preventing chronic diseases: a vital investment. table [En línea]. 5 octubre 2016. http://www.who.int/chp/chronic_disease_report/part1
- Woolfe J. 1992. Sweet potato: An untapped food resource, Cambridge: Cambridge University Press, 643 pp.
- Wu X, Sun XJ, Yang LH, Zeng G, Liu ZY, Li YM. 2008. β -carotene content in sweet potato varieties from China and the effect of preparation on β -carotene retention in the Yanshu No. 5. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9: 581–586.
- Yin L, Wang C. 2016. Morphological, thermal and physicochemical properties of starches from squash (*Cucurbita maxima*) and pumpkin (*Cucurbita moschata*). *Journal of Horticulture*, 3(4): 187 - 194.
- Zaccari F, Cabrera MC, Ramos A, Saadoun A. 2015. In vitro bioaccessibility of β -carotene, Ca, Mg and Zn in landrace carrots (*Daucus carota*, L.). *Food Chemistry*, 166, 365 – 37.
- Zaccari F, Galietta G. 2015. Alfa carotene and beta carotene content in raw and cooked pulp of three mature stage winter squash. *Foods*, 4 (3): 477 – 486.
- Zaccari F, Domingo C, Volonterio E. 2014. Efecto del estado de madurez de calabacín (Cosmos F1) y de la conservación refrigerada en la calidad de la pulpa cocida. En: Zacarías L, Ballester AR, Marcos JF, Pérez-Gago MB, Ed. Proceedings of the Avances en la Postcosecha de Frutas y Hortalizas; Valencia, España, 21–23 October 2014; Valencia, España: Fundación Universidad-Empresa ADEIT; 2014, pp. 553 – 557.

- Zaccari F, Galietta G, Soto B, Las R. 2012. Color y contenido de β -carotenos en boniatos, crudos y cocidos, durante su almacenamiento en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 16: 24 – 32.
- Zaccari F. 2010. Caracterización de seis cultivares de zanahorias (*Daucus carota*, L.), crudas y cocidas al vapor, por color y contenido y bioaccesibilidad *in vitro* de β -carotenos y minerales. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 79 p.
- Zaccari F, Galietta G, Durán A, Soto B, Gratadoux V. 2007a. Cuantificación de β -caroteno en zapallos (*Cucurbita* sp.) cultivados en Uruguay, 2007. pp, 544 -549, En: Libro de trabajos completo del V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, (Eds), Grupo de Postrecolección y Refrigeración, (UPCT), Asociación Iberoamericana de Tecnología Poscosecha (AITEP), Cartagena, España), [En línea] 19 setiembre 2016. <http://www.horticom.com/pd/imagenes/68/989/68989.pdf>
- Zaccari F, Galieta G, Gonzalez Hidiarte G. 2007b. Caracterización de la pulpa fresca de materiales genéticos de boniato (*Ipomoea batata* L.) producidos en Uruguay, V Congreso Iberoamericano de tecnología Postcosecha y Agroexportaciones, (pp 550 - 555), [En línea] 10 noviembre 2016. <http://www.horticom.com/pd/imagenes/69/000/69000.pdf>
- Zaccari F, Sollier S. 2002. Evaluación agronómica de cultivares de zapallo en dos zonas de producción de Uruguay. pp 24-36. En: Seminario de Actualización en el Cultivo de Zapallo. Mesa Nacional de Cucurbitaceas. pp 21 - 51. Carballo, S. (Ed.) 2 de octubre de 2002. INIA-Las Brujas, Canelones. Uruguay.
- Zhang MK, Zhang MP, Marzourek, M, Tadmor Y, Li L. 2014. Regulatory control of carotenoid accumulation in winter squash during storage. *Planta*, 240 (5): 1063 – 1074.
- Zhang Z, Christopher C, Wheatley CC, Corke H. 2002. Biochemical changes during storage of sweet potato roots differing in dry matter content. *Postharvest Biology and Technology*, 24: 317 – 325.

- Zhang T, Oates CG. 1999. Relationship between α -amylase degradation and physicochemical properties of sweet potato starches. *Food Chemistry*, 65: 157 – 163.
- Zheng Y, Wang CY, Wang SY, Zheng W. 2003. Effect of high-oxygen atmospheres on blueberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 51: 7162 – 7169.
- Ziegler RG, Mayne ST, Swanson CA. 1996. Nutrition and lung cancer. *Cancer Causes Control*, 7: 157 – 177.

6. ANEXOS

6.1. GLUCOSE CONTENT AND *IN VITRO* BIOACCESSIBILITY IN SWEET POTATO AND WINTER SQUASH VARIETIES DURING STORAGE



Article

Glucose Content and In Vitro Bioaccessibility in Sweet Potato and Winter Squash Varieties during Storage

Fernanda Zaccari ^{1,2,*}, María Cristina Cabrera ^{2,3} and Ali Saadoun ³

¹ Poscosecha de Frutas y Hortalizas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Av. Eugenio Garzón 780, CP12900 Montevideo, Uruguay

² Nutrición y Calidad de Alimentos, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Av. Eugenio Garzón 780, CP12900 Montevideo, Uruguay; mcab@fagro.edu.uy

³ Fisiología y Nutrición, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Iguá 2245, CP11400 Montevideo, Uruguay; asaadoun@fcien.edu.uy

* Correspondence: fzaccari@fagro.edu.uy; Tel.: +598-2359-7191 (ext. 213); Fax: +598-2354-2052

Academic Editor: Theo H. Varzakas

Received: 30 May 2017; Accepted: 27 June 2017; Published: 30 June 2017

Abstract: Glucose content and in vitro bioaccessibility were determined in raw and cooked pulp of Arapey, Cuabé, and Beauregard sweet potato varieties, as well as Maravilla del Mercado and Atlas winter squash, after zero, two, four, and six months of storage (14 °C, 80% relative humidity (RH)). The total glucose content in 100 g of raw pulp was, for Arapey, 17.7 g; Beauregard, 13.2 g; Cuabé, 12.6 g; Atlas, 4.0 g; and in Maravilla del Mercado, 4.1 g. These contents were reduced by cooking process and storage time, 1.1 to 1.5 times, respectively, depending on the sweet potato variety. In winter squash varieties, the total glucose content was not modified by cooking, while the storage increased glucose content 2.8 times in the second month. After in vitro digestion, the glucose content released was 7.0 times higher in sweet potato (6.4 g) than in winter squash (0.91 g) varieties. Glucose released by in vitro digestion for sweet potato stored for six months did not change, but in winter squashes, stored Atlas released glucose content increased 1.6 times. In conclusion, in sweet potato and winter squash, the glucose content and the released glucose during digestive simulation depends on the variety and the storage time. These factors strongly affect the supply of glucose for human nutrition and should be taken into account for adjusting a diet according to consumer needs.

Keywords: glucose; bioaccessibility; *Ipomoea batatas*; *Cucurbita* sp.; postharvest

1. Introduction

Sweet potatoes (*Ipomoea batatas*, L.) and winter squashes (*Cucurbita* sp.) are two of the most important starch vegetable crops in the world [1–4]. Both vegetables—originating in the regions of South and Central America and produced and widely consumed in others countries, particularly in parts of Asia, Sub-Saharan Africa, and the Pacific Islands—are necessary for human nutrition [2–4]. The principal components in the fresh roots of sweet potatoes and winter squash fruits are carbohydrates; these make up around 25–28% fresh basis weight for sweet potato pulp, and 5–7% in winter squash [3–6]. Starch is the predominant carbohydrate, making up 85–95% and 11–62 % of total dry matter for sweet potato and winter squash, respectively [3–5]. Both vegetables can be harvested during summer and autumn seasons. The type of starch reserves in these vegetables influence the time of the postharvest conservation, i.e., three months for a medium length of time, or eight months for a long time, depending on the variety and storage conditions [3–5]. The starch, in roots and fruit, is metabolized to simple sugars, such as glucose, and it is used to maintain their

viability during the postharvest life [3–7]. The interaction of the varieties, handling during the growing crop, and harvest and storage conditions could change the physiological process in vegetables and, in addition, the process of cooking could directly impact the amount and bioaccessibility of glucose content and of other compositional components of the pulp [7–11]. In spite of the fact that glucose is the key energy for life, particularly for the brain [12–14], a strong relationship between glucose the development of some diseases, such as diabetes, hypertension, and cardiovascular diseases, has been reported [15]. Consequently, sweet potato roots and winter squash fruits largely used in South American crops are interesting as energy sources for children and the elderly, and for persons with chronic diseases such as diabetes. In this last case, an accurate knowledge about glucose content and how much is released during storage or cooking is necessary. For this reason, the aim of this work was to determine the total glucose content and the effect of the cooking process on sweet potato and winter squash varieties during the storage period. Additionally, the glucose release during *in vitro* digestion was determined in cooked pulp from all varieties and storage times.

2. Experimental Section

2.1. Plant Materials and Sample Preparation

Three sweet potato varieties (Arapey, Cuabé, and Beauregard) are local varieties obtained in a breeding program [16], and two varieties of winter squash, one, a hybrid between *Cucurbita maxima* and *Cucurbita moschata* (named Maravilla del Mercado, Sakata) and the other type, “butternut”, *Cucurbita moschata* (Atlas, Sakata), were used. The roots of sweet potatoes and fruits of winter squashes were harvested at the mature stage at the end of summer (April). All of them were maintained for two weeks in an open room under initial handling wound healing conditions. After this time, the roots and fruits were carried to the Postharvest Fruits and Vegetables Laboratory of the Faculty of Agronomy. Selected roots and fruits were stored in a cold room at 14 °C and 80% relative humidity (RH) for zero (harvest), two, four, and six months. They were kept in three randomized plots per variety and storage period with 5–8 roots of sweet potato (≈ 2 kg per plots) and 12–15 fruits of winter squash per plot (≈ 25 kg per plots). After each storage time, the fruits were washed with tap water and soft brushing, rinsed with distilled water, drained and dried with blotting paper. Five roots and fruits per plot with no visible defects were used. The equatorial central part of the roots and fruits were used. Butternut squash fruits are pear-shaped. Therefore, in this case, the slices were obtained within the equatorial zone between the stem and the start of the seed cavity of the fruit. The pieces were peeled and cut with a stainless steel knife in cubes with 5 cm and 3 cm side lengths for winter squash pulp or sweet potato, respectively. The cubes were kept in sealed bags in a freezer (-20 °C) until analysis; previously, half of them were cooked in an oven microwave (Kassel®, KS-MM20, Hamburg, Germany) at 800 W, with hot water (≈ 55 °C) at a ratio of 1:2 (weight pulp: volume water) for 6 min. The final cooked temperature in the pulp was measured (60–65 °C) and the cube had an edible, firm texture and flavor. This cooking process was tested in previous trials. The variables studied were determined in duplicate for each treatment plot following analysis methodologies described below.

2.2. Total Glucose Content in Raw and Cooked Pulp

Extraction of glucose, in raw and cooked pulp, was performed with 0.5 g of pulp in 8 mL of HCl (4 N) boiling for 2 h. The extraction was filtered and NaOH (2 N) was added to neutralize the filtered solution. Total glucose content was measured by colorimetric methods using a commercial enzymatic procedure from Spinreacts kits (Glucose-TR, GOD-PROD, Sant Esteves de Bas, Girona, Spain). Determinations were obtained on a visible spectrophotometer (Genesys 10 VIS; Thermo Electro Corporation, Berlin, Germany) at $\lambda = 505$ nm. Data were expressed in grams of glucose per 100 g fresh weight ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$).

2.3. In Vitro Digestion of Cooked Pulp

An in vitro model based on a simulation digestion was performed. Samples of cooked pulp from sweet potato and winter squash varieties from every storage time were digested as described by Zaccari et al. [17]. Minor modifications were performed for the duodenal phase, including the addition of 0.1 mL α -amylase (A3306 Sigma-Aldrich, Saint Louis, MO, USA) and 30 μ L α -amylglucosidase (AT7095 Sigma-Aldrich, Saint Louis, MO, USA) at pH 6, and previously adjusting the digests with citrate buffer solution (pH 5.5) and NaHCO_3 (0.8 M). After in vitro digestion, the digests were filtered and the glucose content in the extraction was measured.

2.4. In Vitro Bioaccessible Glucose Content in Cooked Pulp

The glucose content in the extracted digests was measured with similar procedures as those described for the total glucose measurement in pulp. Data were expressed in grams of total glucose released by in vitro digestion per 100 g cooked pulp weight ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$), and the percentage of bioaccessible glucose was calculated as:

$$\% \text{ glucose bioaccessible} = \frac{\text{glucose released in vitro digestion}}{\text{total glucose in cooked pulp}} \times 100 \quad (1)$$

2.5. Experimental Design and Statistical Analysis

The experimental design had completely randomized plots ($n = 3$), in a $4 \times 2 \times 3$ or 2 with factorial structure, storage factor with four storage times (zero, two, four, and six months), two preparation processes (raw or cooked), with three or two varieties of sweet potato or winter squash, respectively. For sweet potatoes and winter squash, data were analyzed by a three way-ANOVA ($p \leq 0.05$) with variables including varieties, preparation, and storage times. Each preparation process was analyzed by one way-ANOVA ($p \leq 0.05$) for sweet potato or winter squash, for varieties and storage time, followed by a Tukey post-hoc test ($p \leq 0.05$). The effects of the preparation (raw and cooked) on each storage time and variety were analyzed by Student's t test ($p \leq 0.05$). The data was processed with the InfoStat (Version 2015; FCA, Córdoba, Argentine) statistical program. All values were presented as means \pm SEM and expressed per 100 g of fresh pulp weight ($100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$).

3. Results and Discussion

3.1. Total Glucose Content in Raw and Cooked Pulp

The total glucose content in raw and cooked pulp was 3–4-fold higher in sweet potato (Arapey, 17.7 g; Beauregard, 13.2 g; Cuabé, 12.6 g) than in winter squash varieties (Atlas, 4.0 g; Maravilla del Mercado, 4.1 g) (Figure 1). In sweet potato, the total content of glucose depended on the interaction of the variety, method of preparation, and storage time; it decreased with the cooking process and times of storage (Figure 1). In sweet potato, raw and cooked pulp, Arapey was the variety that had the greatest total glucose content during four months of storage, and it decreased around 26% at six months. Furthermore, Beauregard and Cuabé varieties had similar glucose content (14.1 g) until the second month of storage, after which it decreased (10.3 g). The cooking process determined the reduction of the total glucose in the three varieties of sweet potatoes, especially at the second and fourth months of storage in Cuabé and Beauregard varieties (Figure 1).

However, in winter squash pulp, the total glucose content was similar in both varieties (4.0 g) and depended on the preparation and storage time (Figure 1). In raw and cooked pulp, it was observed that the total glucose content increased around 50–55% in the second month of storage. The raw pulp of winter squash had more (4.5 g) glucose content than cooked pulp (3.6 g). The effects of the cooking process were observed only in Maravilla del Mercado at six months of storage, with 50% less glucose than in cooked pulp (Figure 1). Starch and sugars are the main components of the dry matter (40–85%), and the source of glucose reported for both sweet potato and winter squash

pulp [3–5,7–9]. Several authors have reported that in varieties of sweet potato and winter squash, losses of dry matter, total sugars, and glucose content for metabolism respiration and degradation during postharvest storage [6,7,9,18–20] were observed. Other authors have determined differences in starch granules as well as the amount and activity of enzyme α and β -amylases, which explain part of the different behaviors between varieties and the decreased rate of the total glucose content during storage time [6,9,11,18,21–24]. For winter squash, an increase in the total glucose content at the second month of storage was observed. This increase in glucose can be explained by the biosynthesis from other compounds and/or by a translocation from other parts of the fruit, as reported for watermelon [25] and melon [26].

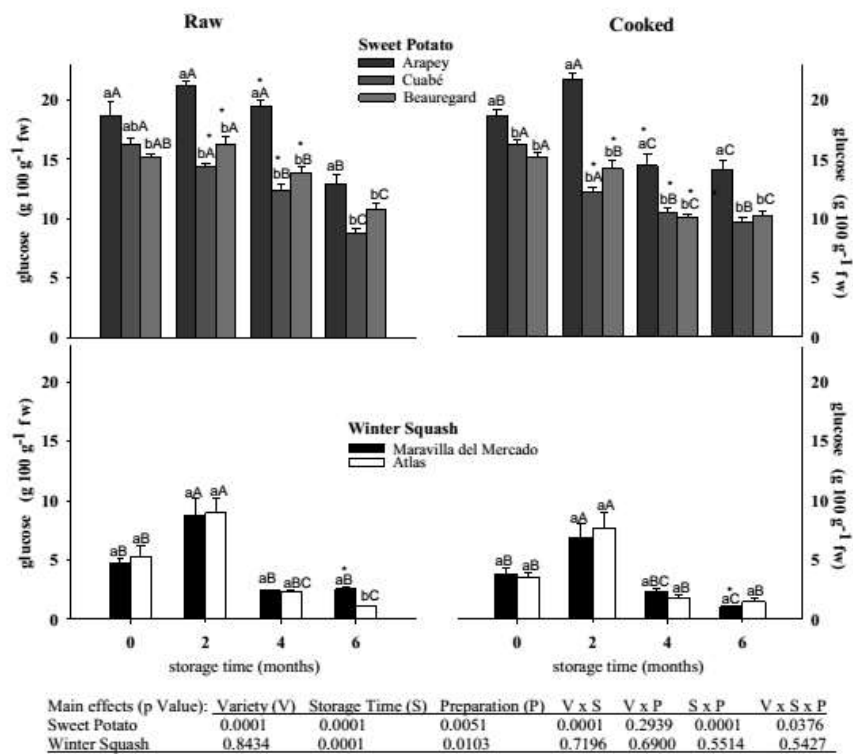


Figure 1. Total glucose content ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ fw}$) in raw and cooked pulp from sweet potato and winter squash varieties stored for different times. Means \pm SEM ($n = 6$). Different lowercase letters on each column, for sweet potatoes or winter squash, indicate statistical differences (Tukey, $p \leq 0.05$) between varieties for each process (raw or cooked) and storage time. Uppercase letters indicate statistical differences between storage times for each variety and process (raw or cooked). * denotes statistical differences by Student’s *t* test ($p \leq 0.05$) between process (raw and cooked) in each variety and storage time.

3.2. In Vitro Bioaccessible Glucose Content in Cooked Pulp

The glucose release by in vitro digestion was higher in sweet potato (6.4 g) than winter squash cooked pulp (0.91 g). In sweet potato, the glucose released by digestion was between 8.4 and 5.1 g, without the effects of variety and storage time (Table 1).

According to these results, over time, storage caused less interference with other compounds of the pulp and probably provoked more access to enzymes in the site of action for the starch digestion. A change in the starch grains’ structure could be explained most easily by the digestion of the starch [8,9,18–23,27–30].

In winter squash cooked pulp, the glucose released by in vitro digestion depended on the interaction between variety and storage time (Table 1), with strong effects of variety. Atlas cooked pulp had 42–69% less glucose released by digestion than Maravilla del Mercado during every evaluated storage time. The highest content of glucose after digestion was obtained in the second month of storage in Maravilla del Mercado cooked pulp (1.4 g) and at the end of storage in Atlas (0.8 g) (Table 1). Similar to sweet potato, the type and properties of starch are different between species and varieties and can be modified with the storage time [4,6,11,20,28], but no major changes were detected in the total amount of glucose released by digestion.

Table 1. Total glucose (g) released by in vitro digestion in 100 g cooked pulp from sweet potato and winter squash varieties stored at different times.

Storage Time (Months)	Sweet Potato			Winter Squash	
	Arapey	Beauregard	Cuabé	Maravilla del Mercado	Atlas
0	8.4 ± 1.0	5.1 ± 0.8	5.2 ± 0.8	1.1 ± 0.03 ^{a,B}	0.5 ± 0.07 ^{b,A}
2	5.6 ± 0.3	5.3 ± 0.4	6.5 ± 0.6	1.4 ± 0.06 ^{a,A}	0.4 ± 0.05 ^{b,A}
4	6.5 ± 0.6	7.5 ± 1.4	7.3 ± 0.6	1.3 ± 0.01 ^{a,A,B}	0.7 ± 0.07 ^{b,A}
6	7.7 ± 0.6	6.0 ± 0.7	6.2 ± 0.2	1.1 ± 0.09 ^{a,B}	0.8 ± 0.12 ^{a,A}

Main Effects (p value): Variety (V) Storage Time (S) V × S
 Sweet Potato 0.1205 0.1958 0.0676
 Winter Squash 0.0001 0.0542 0.0032

Means ± standard error (n = 6). For sweet potato or winter squash, lowercase letters on each row indicate differences (Tukey, p ≤ 0.05) between varieties in the same storage time, and uppercase letters indicate differences between storage times for each variety. No letters indicate a lack of a statistical difference.

The percentage of glucose in vitro increased with the storage time in sweet potato (30–60%) and winter squash varieties (14–69%) (Figure 2). In sweet potato, the percentage of glucose bioaccessibility depended of the interaction of varieties and storage times. At the beginning and at the end of storage the percentage of bioaccessibility was similar between varieties, at an average of 37% at harvest and 59% at six months of storage. However, in the second month, Cuabé had twice the percentage of bioaccessible glucose than the others varieties (31%) (Figure 2). Despite the differences obtained in the total glucose content for sweet potato varieties and storage times, the cooking process was likely homogenized by the in vitro digestion. On the other hand, the winter squash pulp percentage of glucose bioaccessibility depended of the variety and storage time. It always showed a higher percentage in glucose bioaccessibility in Maravilla del Mercado than Atlas; at the same time, both varieties presented glucose bioaccessibility that rose two and three times after the second month of storage (Figure 2).

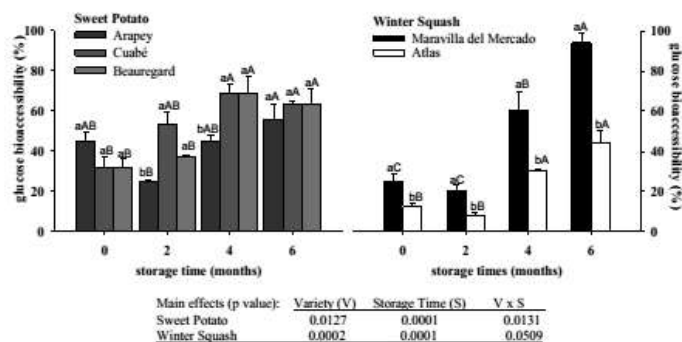


Figure 2. Percentage of in vitro bioaccessible glucose in cooked pulp from sweet potato and winter squash varieties stored for different times. Bars are means ± SEM (n = 6). For sweet potato or winter squash, lowercase letters on each column represent differences (Tukey p ≤ 0.05) between varieties at each storage time, and uppercase letters represent differences between storage times for each variety.

For all varieties of the sweet potato cooked pulp, the amount of released glucose by in vitro digestion in 100 g of cooked pulp (5.1 and 8.4 g) was greater than the total glucose content in the blood of healthy adults (70–99 mg dL⁻¹, around 3.5–4.0 g of total glucose in blood) [31]. By contrast, in all cases for winter squash, cooked pulp was potentially only less than 25% of the total blood content.

4. Conclusions

The total glucose amount of sweet potato varieties was higher (14.5 g 100 g⁻¹ fw) than winter squashes (4.0 100 g⁻¹ fw). The Arapey sweet potato variety had the highest total content of glucose (21 g 100 g⁻¹ fw) and winter squash varieties had the lowest (4 g 100 g⁻¹ fw). These contents were affected by storage time, in which a prolonged storage of roots or fruits for more than two months caused a reduction in the level of total glucose. In sweet potato varieties, cooked pulp had lower glucose content than raw pulp after two months of storage time. However, in winter squash, cooking only affected the total glucose content in Maravilla del Mercado winter squash at the end of storage. The released glucose by in vitro digestion in sweet potato varieties studied here was similar and not affected by storage time, with amounts between 5.1 and 8.4 g for 100 g of cooked pulp. However, in winter squashes, Maravilla del Mercado had twice the amount of bioaccessible glucose than Atlas at every storage time (1.2 and 0.6 g 100 g⁻¹ fw, respectively), and only the Maravilla del Mercado winter squash variety modified the released glucose by in vitro digestion with the storage time. Thus, the released glucose by in vitro digestion was low for both vegetables in relation to the carbohydrate daily requirement for adults (recommended dietary allowance 130 g day⁻¹) [32]. Therefore, the sweet potato varieties studied here seem to be suitable for the recommended daily carbohydrate requirement for a healthy adult, and winter squash varieties could be recommended for people with a low tolerance of glucose in blood.

Acknowledgments: The authors thank the Department of Vegetal Production of the Agronomy Faculty (UdelaR) for financial support to Pablo Latrónico for carrying out us in the glucose determinations.

Author Contributions: Fernanda Zaccari conceived and design the research and wrote the paper. María Cristina Cabrera and Ali Saadoun assisted in the in vitro protocol for glucose determinations. All authors provide input into the interpretation of the results and approved the final manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. FAO. Statistical Databases FAOSTAT. 2014. Available online: <http://faostat.fao.org/es/#data/QC> (accessed on 26 June 2016).
2. Lim, T.K. Cucurbita Moschata. Available online: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1764-0_41#page-2 (accessed on 20 March 2016).
3. Bates, D.M.; Robinson, R.W.; Jeffery, C. *Biology and Utilization of the Cucurbitaceae*, 1st ed.; Cornell University Press: Ithaca, NY, USA, 1990; p. 485.
4. Woolfe, J. *Sweet Potato: An Untapped Food Resource*, 1st ed.; Cambridge University Press: New York, NY, USA, 1992; p. 643.
5. Brücher, H. Carbohydrates from Roots and Tubers. In *Useful Plants of Neotropical and Their Wild Relatives*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 1989.
6. La Bonte, D.L.; Picha, D.R.; Hester, A.; Johnson, H.A. Carbohydrate-Related Changes in Sweetpotato Storage Roots during Development. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **2000**, *125*, 200–204.
7. Zhang, Z.; Christopher, C.; Wheatley, C.C.; Corke, H. Biochemical changes during storage of sweet potato roots differing in dry matter content. *Postharvest Biol. Technol.* **2000**, *24*, 317–325. [[CrossRef](#)]
8. Senanayake, S.; Gunaratne, A.; Ranaweera, K.D.S.; Bamunuarachchi, A. Effect of heat-moisture treatment on digestibility of different cultivars of sweet potato (*Ipomea batatas* (L.) Lam) starch. *Food Sci. Nutr.* **2014**, *2*, 398–402. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Kami, D.; Muro, T.; Sugiyama, K. Changes in starch and soluble sugar concentrations in winter squash mesocarp during storage at different temperatures. *Sci. Hortic.* **2011**, *127*, 444–446. [[CrossRef](#)]

10. K'osambo, L.M.K.; Carey, E.E.; Misra, A.K.; Wilkes, J.; Hagenimana, V. Influence of Age Farming Site and Boiling on Pro-Vitamin A content in Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) Storage Roots. *J. Food Compos. Anal.* **1998**, *11*, 305–321. [CrossRef]
11. Picha, D.H. Chilling injury, respiration and sugar changes in sweet potatoes stored at low temperature. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **1987**, *112*, 497–502.
12. Smith, M.A.; Riby, L.M.; Foster, J.K. Glucose enhancement of human memory: A comprehensive research review of the glucose memory facilitation effect. *Neurosci. Biobehav. Rev.* **2011**, *35*, 770–783. [CrossRef] [PubMed]
13. Ruby, L.M.; Law, A.S.; McLaughlin, J.; Murray, J. Preliminary evidence that glucose ingestion facilitates prospective memory performance. *Nutr. Res.* **2011**, *31*, 370–377. [CrossRef] [PubMed]
14. Peters, A.; Schweiger, U.; Pellerin, L.; Hubold, L.; Oltmanns, K.M.; Conrad, M.; Schultes, B.; Born, J.; Fehm, H.L. The selfish brain: Competition for energy resources. *Neurosci. Biobehav. Rev.* **2004**, *28*, 143–180. [CrossRef] [PubMed]
15. European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Carbohydrates and Dietary Fiber. *EFSA J.* **2010**, *8*, 1–77. [CrossRef]
16. Giménez, G.; González, M.; Rodríguez, G.; Vicente, E.; Vilaró, F. Catálogo de Cultivares Hortícolas 2014. Available online: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4590/1/Catalogo-cultivares-hortícolas-2014.pdf> (accessed on 15 March 2015).
17. Zaccari, F.; Cabrera, M.C.; Ramos, A.; Saadoun, A. In vitro bioaccessibility of β -carotene. Ca, Mg and Zn in landrace carrots (*Daucus carota* L.). *Food Chem.* **2015**, *166*, 365–371. [CrossRef] [PubMed]
18. Takahata, Y.; Noda, T.; Sato, T. Changes in carbohydrates and enzyme activities of sweet potato lines during storage. *J. Agric. Food. Chem.* **1995**, *43*, 1923–1929. [CrossRef]
19. Corrigan, V.K.; Irving, D.E.; Potter, J.F. Sugars and sweetness in buttercup squash. *Food Qual. Preference* **2000**, *11*, 313–322. [CrossRef]
20. Picha, D.H. Carbohydrates changes in sweet potatoes during curing and storage. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **1987**, *111*, 89–92.
21. Jiang, Y.; Chan, C.; Tao, X.; Wang, I.; Zhang, Y. A proteomic analysis of storage stress responses in *Ipomoea batatas* (L.) Lam. Tuberous root. *Mol. Biol. Rep.* **2012**, *39*, 8015–8025. [CrossRef] [PubMed]
22. Shekhar, S.; Mishra, D.; Buraohain, A.K.; Charkaborty, S.; Charkaborty, N. Comparative analysis of phytochemicals and nutrient availability in two contrasting cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Food Chem.* **2015**, *173*, 957–965. [CrossRef] [PubMed]
23. Zhang, T.; Oates, C.G. Relationship between α -amylase degradation and physicochemical properties of sweet potato starches. *Food Chem.* **1999**, *65*, 157–163. [CrossRef]
24. Stevenson, D.G.; Yoo, S.-H.; Hurst, P.L.; Jane, J.-L. Structural and physicochemical characteristics of winter squash (*Cucurbita maxima* D.) fruit starches at harvest. *Carbohydr. Polym.* **2005**, *59*, 153–163. [CrossRef]
25. McGillivray, J.H. Soluble solids content of different regions of watermelons. *Plant Physiol.* **1947**, *22*, 637–640. [CrossRef]
26. Scott, G.W.; MacGillivray, J.H. Variation solids of the juice from different regions in melon fruits. *Hilgardia* **1940**, *13*, 69–79. [CrossRef]
27. Trancoso-Reyes, N.; Ochoa-Martinez, L.A.; Bello-Perez, L.A.; Morales-Castro, L.; Estevez-Santiago, R.; Olmedilla-Alonso, B. Effect of pre-treatment on physicochemical and structural properties, and the bioaccessibility of beta-carotene in sweet potato flour. *Food Chem.* **2016**, *200*, 199–205. [CrossRef] [PubMed]
28. Aina, A.J.; Falade, K.O.; Akingbala, J.O.; Titus, P. Physicochemical Properties of Caribbean Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) Starches. *Food Bioprocess Technol.* **2012**, *5*, 576–583. [CrossRef]
29. Lai, Y.C.; Huang, C.L.; Chan, C.F.; Lien, C.Y.; Liao, W.C. Studies of sugar composition and starch morphology of baked sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). *J. Food Sci. Technol.* **2013**, *50*, 1193–1199. [CrossRef] [PubMed]
30. Mennah-Govela, Y.A.; Bornhorst, G.M. Acid and moisture uptake in steamed and boiled sweet potatoes and associated structure changes during in vitro gastric digestion. *Food Res. Int.* **2016**, *88*, 247–255. [CrossRef]

6.2. VARIATION IN GLUCOSE, α AND β - CAROTENE AND LUTEIN CONTENT DURING STORAGE IN WINTER SQUASH “TYPE BUTTERNUT”

Variation in glucose, α - and β -carotene and lutein content during storage time in winter squash “type Butternut”

F. Zaccari^{1,2*}, M.C. Cabrera² and A. Saadoun^{2,3}

¹Poscosecha de Frutas y Hortalizas, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República (UdelaR), Montevideo, Uruguay; ²Nutrición y Calidad de Alimentos, Facultad Agronomía, UdelaR, Montevideo, Uruguay; ³Fisiología y Nutrición, Facultad de Ciencias, UdelaR, Montevideo, Uruguay.

Abstract

Winter squash, “type butternut pumpkin”, is an interesting source of high quality nutrients, but after 4 to 6 months of storage there are physiological processes that can modify the content of these compounds. The aim of this work was to determine the variation in valuable nutrients during the storage of squashes. Content of total glucose, α - and β -carotene and lutein were determined in raw pulp squash, “type butternut” (‘Atlas F’, ‘Sakata’) at harvest (0), 2, 4 and 6 months of storage (14°C, 80% RH) from the whole fruits. Increasing carotenoids content was observed in raw pulp during the storage from 0 until 4 months. Lutein content was higher (79.7 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ fw) at 2 months, while α -carotene (33.7 mg 100 g⁻¹ fw) and β -carotene (37.6 mg 100 g⁻¹ fw) were higher at 4 months of storage. Total glucose increased by 72% in the second month of storage and then decreased significantly by 46 and 80% at 4 and 6 months respectively compared with the content at 0 month fresh raw pulp. At 6 months, was lower in total glucose (0.8 times) and carotenoids higher (0.7 times) than harvest, in the dry matter content. These results show that storage significantly affects nutrient content in squashes, and that the nutritional value depends on the time of storage. This information is useful to a better understanding about the nutritional quality and composition of this food.

Keywords: *Cucurbita moschata*, postharvest, carotenoids, total glucose, colour

INTRODUCTION

The fruits of winter squash, “type butternut pumpkin”, called “calabacín” in the Río de la Plata region, is an affordable food consumed throughout the year as it is stored for long periods of 4–6 months (Camm, 2014; Diea, 2014). These squashes with bright orange pulp are a source of nutrients and phytochemicals for suitable nutrition and health protection (Lim, 2012). The orange and yellow pulp contains carotenoids among which stand out β -carotene, α -carotene and xanthophylls, such lutein (González et al., 2001). Carotenoids, β -carotene and α -carotene are precursors of vitamin A and as the lutein are compounds with antioxidant properties (Eitenmiller et al., 2007). There is epidemiological evidence that increasing carotenes, lutein and zeaxanthin intake the risk for eye diseases such as age-related macular degeneration is lower (Cho et al., 2004; Eitenmiller et al., 2007; Hobbs and Bernstein, 2014). Squashes also contain starch, necessary for the postharvest preservation and also as a source of carbohydrates for human nutrition (Irving et al., 1999; Lim, 2012). Physiological and metabolic processes take place during postharvest that can affect the content of these valuable compounds (Wang, 2013) during storage. To improve the intake of the squashes it is necessary to determine acutely the content of nutrients in raw pulp and the variation of them with the typical storage process. In consequence, the aim of the present work was to quantify total glucose, α -carotene, β -carotene and lutein content in raw pulp of winter squash “type butternut” and determine the variation of this with the time of storage.

*E-mail: fzaccari@fagro.edu.uy



6.3. EFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES CONTROLADAS DE TEMPERATURA SOBRE ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE ZAPALLOS

Efecto del tiempo de almacenamiento en...

Zaccari, Fernanda y cols. (2015)

EFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO EN CONDICIONES CONTROLADAS DE TEMPERATURA SOBRE ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE ZAPALLOS "TIPO KABUTIA" (*Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*)

Zaccari, Fernanda¹, Galeazzi, Danah^{1,2}, Rahi, Viviana^{1,2}

¹Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Poscosecha de Frutas y Hortalizas. Av. Eugenio Garzón 780. CP 12900. Montevideo, Uruguay; ²Trabajo experimental de la Carrera de Ingeniería de los Alimentos; E-mail: fzaccari@fagro.edu.uy

Palabras clave: *Cucurbita* sp.; conservación refrigerada, color, carotenos, antioxidantes

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto del tiempo de almacenamiento en condiciones controladas de temperatura (12°C, 80%HR) sobre algunos atributos físicos y composición química en pulpa cruda de zapallos "tipo kabutia" (Maravilla del Mercado, Sakata). Los zapallos fueron cosechados en estado maduro y almacenados 0, 2, 4 y 6 meses. A la salida de cámara, en cada tiempo de almacenamiento, se determinó la pérdida de peso de los frutos que mantuvieron la calidad comercial, y en la pulpa cruda el color (CIE L*a*b*) expresado como L* %hue y croma, la firmeza, el contenido de materia seca (MS), sólidos solubles (SS), pH y acidez titulable y expresados cada 100 g de peso fresco el contenido de trans-β-caroteno, α-caroteno y luteína, polifenoles totales (Folin Ciocalteu) y la capacidad antioxidante total (CAT) con el radical DPPH. A partir del cuarto mes de almacenamiento el tono de color fue más anaranjado (59,7 %hue) y saturado (69,5 croma), al mismo tiempo que se obtuvieron los valores más altos en contenido de trans-β-caroteno (37,8 mg) y luteína (671,7 µg) siendo similar el contenido de α-caroteno (4,8 mg). Por otro lado el contenido de MS, SS y la firmeza bajaron luego de cuatro meses de almacenamiento. Los frutos que mantuvieron su calidad comercial perdieron 8,6 % de su peso a los seis meses. La pulpa cruda de frutos "tipo kabutia" mejoró el color, el contenido de trans-β-caroteno y luteína, el contenido de polifenoles totales y los frutos tuvieron menor pérdida el peso hasta los cuatro meses de almacenamiento refrigerado.

EFFECT OF STORAGE TIME UNDER CONTROLLED CONDITIONS OF TEMPERATURE ON PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES SQAUSHES "TYPE KABUTIA" (*Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*)

Keywords: *Cucurbita* sp.; controlled storage, color, carotenos, antioxidants

ABSTRACT

The aim of this work was to study the effect of storage time under controlled conditions of temperature (12 °C, 80% RH) on some physical attributes and chemical composition of raw squash pulp "kabutia type" (Maravilla del Mercado, Sakata). The squashes were harvested mature and stored 0, 2, 4 and 6 months. In each storage period were determined: weight loss fruit that maintained commercial quality; in the raw pulp color (CIE L * a * b *) expressed as L * chroma %hue; firmness; dry matter (DM); soluble solids (SS); pH and titratable acidity; content of trans-β-carotene, α-carotene and lutein, total polyphenols (Folin Ciocalteu) and total antioxidant capacity (TAC) with DPPH radical, expressed per 100 g fresh weight. The main results were that from the fourth month of storage the color tone was more orange (59.7 %hue) and saturated (69.5 chroma), while the highest values were obtained in trans-β carotene (37.8 mg) and lutein (671.7 g) being similar content of α-carotene (4.8 mg). On the other hand the content of MS, SS and firmness decreased after four months of storage. The fruits maintained their commercial quality, lost 8.6% of its weight at six months. Raw fruit pulp "kabutia type" improved the color, the content of trans-β-carotene and lutein, total polyphenol content and fruit had lower weight loss up to four months of refrigerated storage.

INTRODUCCION

Los zapallos híbridos interespecíficos (*Cucurbita moschata* x *Cucurbita maxima*), tipo Iron cup, conocidos en Uruguay como "tipo kabutia", son frutos que se conservan cuatro a ocho meses, lo cual permite tener disponible un alimento fresco y natural de alta calidad durante gran parte del año. En nuestro país este tipo de zapallos representan un 64 % de los zapallos comercializados (DIEA, 2012; CAMM_DIGEGR, 2014).

Habitualmente se consumen, bajo distintas formas de preparación, 0,53 kg/mes/persona, siendo el 4% en peso de las hortalizas frescas consumidas sin incluir raíces y tubérculos (Bove & Cerruti, 2008). Los zapallos son cosechados y conservados en el predio de producción, en estructuras acondicionadas a la intemperie, que resguardan a los frutos del sol en verano y al daño por heladas durante el invierno. En estos sistemas de almacenamiento las condiciones ambientales tienen una amplitud térmica e hídrica dependiente de los cambios climáticos diarios y estacionales. La temperatura varía de 20°C a 35°C durante los meses de verano y 5°C a 15°C durante los meses de invierno (Zaccari & Sollier, 1999). Si bien es conocido que la conservación refrigerada de zapallos a 10°C a 14°C y 75-85% HR son las condiciones adecuadas para prolongar la vida poscosecha de estos frutos (Cantwell & Suslow, 1998), dicha forma de conservación no ha sido aún adoptada debido a razones socioculturales y económicas que afectan a los actuales sistemas de producción. En el almacenamiento se producen cambios físicos y químicos que modifican la calidad comercial de los frutos a la vez que pueden estar reduciéndose o incrementándose compuestos que pueden ser de interés nutricional (Harvey et al., 1997; Gayathri et al., 2004). Con el fin de contribuir a conocer el potencial de rendimiento comercial durante el almacenamiento en condiciones controladas de temperatura (12°C y 80% HR) se planteó como objetivo de este estudio

caracterizar y cuantificar la cantidad y calidad de frutos con calidad comercial, y la evolución durante el almacenamiento de algunas características físicas y químicas de interés nutricional en pulpa cruda de zapallos "tipo kabutia".

MATERIALES Y METODOS

Material vegetal.

El estudio se realizó en la pulpa cruda de zapallos "tipo kabutia" cv. Maravilla del Mercado (Sakata), cosechados en abril en estado maduro, en un cultivo realizado en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía (34,6 latitud Sur; 56,2 longitud Oeste). El estado de madurez fue definido en el momento de la cosecha según el color de la cáscara (verde oscuro no opaco) y de la zona de apoyo (amarillo-anaranjado), y el color del pedúnculo (50 % marrón) de acuerdo a Sollier et al. (2005).

Preparación de la muestra.

Los zapallos fueron seleccionados sin defectos visibles, lavados con agua potable, desinfectados con NaClO (100 ppm, 5 min con agitación), secados con papel absorbente, identificados con un número y almacenados en bolsa tipo red con 8 a 10 frutos (20-25 kg), constituyendo cada bolsa una parcela de estudio. El almacenamiento se realizó en una cámara refrigerada a 12°C y 80% HR durante 0 (cosecha), 2, 4 y 6 meses. En cada momento de almacenamiento se extrajeron de la zona ecuatorial de cada fruto 2 a 3 rodajas por fruto de 4 cm de espesor, se pelaron y se cortaron en cubos de 4 cm³ en los cuales se realizaron las mediciones físicas y químicas.

Peso comercial y pérdida de peso de frutos con calidad comercial.

Se pesaron los frutos al inicio y final de cada tiempo de almacenamiento. Se evaluó en cada momento del almacenamiento el número de frutos con calidad comercial (sin defectos visibles) de acuerdo a Barboza et al. (2002), y el número de frutos de descartes identificando las causas. Se calculó el peso comercial de

frutos en cada momento del estudio expresándolo en porcentaje del peso inicialmente almacenado. Además se calculó para cada tiempo de almacenamiento, en los frutos que mantuvieron la calidad comercial, la pérdida de peso expresada como el porcentaje del peso inicial de dichos frutos.

Color

El color fue medido por el sistema CIEL*a*b* utilizando un colorímetro (Minolta CR-10, Japón). Se determinaron las variables L* (Luminosidad, 0 = negro a 100 = blanco), a* (-a = verde, a = rojo) y b* (-b = amarillo, b = azul). Se calculó la saturación del color (Croma) y el tono (° hue) con las siguientes ecuaciones: Croma = $(a^2 + b^2)^{1/2}$ y ° hue = arco tangente (b^*/a^*) de acuerdo a Mc Guire, 1992. El color de la pulpa cruda de zapallo fue determinado por duplicado en 10 cubos por parcela en cada momento de almacenamiento.

Firmeza

Se midió por duplicado en 5 cubos por parcela, con un presionómetro manual (Efeeggi, FT-011) en un soporte, con una sonda cilíndrica base plana de 4,0 mm de diámetro, expresando los resultados en Newton (N).

Materia Seca

Se determinó en estufa con ventilación cenital a 105 °C hasta peso constante, por triplicado para cada parcela, expresando los datos en porcentaje del peso fresco.

Sólidos solubles totales

Se realizó jugo de los cubos de la pulpa cruda con una juguera doméstica (Philips, HR1822) midiendo, por duplicado en cada parcela, el contenido de sólidos solubles totales con un refractómetro (Atago, PAL-1). Los datos son expresados en °Brix.

pH

El pH fue determinado en el jugo de cada parcela con un potenciómetro digital (Cole Parameter-Digi Sense, Digital pH, USA).

Acidez titulable

Se determinó por titulación en 10 mL de jugo con NaOH (0,1 N) y como indicador

fenolftaleína, expresando los resultados en ácido málico (mg de ácido málico.100 ml⁻¹).

trans-β-caroteno, α-caroteno y luteína.

Las extracciones realizadas por duplicado para cada parcela y la cuantificación de carotenoides fueron procesados según lo descrito por Zaccari et al. (2015). Los estándares utilizados fueron trans-β-caroteno tipo II (Sigma-Aldrich, 95%), mezcla de isómeros de carotenos de zanahoria (Sigma Aldrich C4646, β:α 2:1, ≥ 95%), y para luteína se obtuvo el estándar de pétalos de Tagete erecta, L. según US 2010/0121112A1. Los resultados se expresaron cada 100 g de peso fresco en mg de β-caroteno, mg de α-caroteno y µg de luteína.

Polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales se determinó por triplicado en cada parcela según el protocolo micro escala descrito por Waterhouse (2002) utilizando como reactivo Folin-Ciocalteu. Los datos se expresan en ácido gálico equivalente en 100 g de peso fresco (mg AGE.100 g PF -1).

Capacidad antioxidante total

La capacidad antioxidante total fue determinada por triplicado en cada parcela según Brand-Williams (1995) con el radical libre 2,2 difenil-1-picrilhidrazil (DPPH.) expresando los resultados en ácido ascórbico equivalente en 100 g de peso fresco (mg AAE.100 g PF -1)

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental consistió en parcelas distribuidas al azar con tres parcelas por tratamiento (0, 2, 4 y 6 meses de almacenamiento). Los datos obtenidos en cada variable fueron procesados con un análisis de varianzas y cuando correspondió se comparó las medias utilizando el test de Tukey (P≤0,05) en el programa estadístico InfoStat (2011).

RESULTADOS Y DISCUSION

Pérdida de peso de frutos con calidad comercial. El porcentaje del peso comercial de frutos disminuyó con el tiempo de

conservación, siendo diferente estadísticamente sólo al final del almacenamiento (Figura 1). A los seis meses, la pérdida comercial de peso fue de 22% respecto al peso inicialmente almacenado. La principal causas de descarte de zapallos fue por pudriciones (*Dydymella bryoniae*, *Fusarium sp.*, y bacteriosis). Los frutos que se mantuvieron con calidad comercial en el almacenamiento tuvieron en promedio 5 % de pérdida de peso hasta el cuarto mes, duplicándose al final del almacenamiento (6 meses) (Figura 2). Los frutos mantuvieron la calidad externa sin defectos visibles, no observándose síntomas de deshidratación. Sin embargo, internamente los frutos tenían la cavidad seminal más grande reduciéndose el espesor de la pulpa (datos no mostrados).

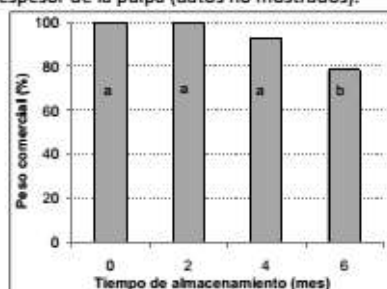


Figura 1. Frutos con calidad comercial (% del peso inicialmente almacenado) durante la conservación (0, 2, 4 y 6 meses).

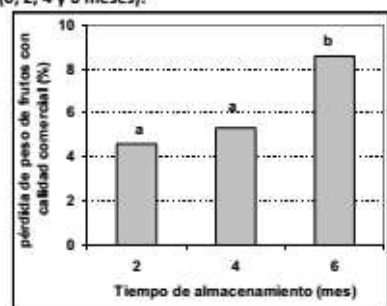


Figura 2. Pérdida de peso de frutos con calidad comercial (% del peso inicialmente almacenado) durante la conservación (2, 4 y 6 meses).

Color de la pulpa. En el cuarto mes de almacenamiento se observó una modificación del color de la pulpa del zapallo, perdiendo algo de brillo (5 %), bajando el valor del tono (19%) y aumentando la saturación (4%) (Tabla 1). El tono de color más anaranjado e intenso concuerda con el aumento del contenido de carotenoides (trans β -caroteno y luteína) y polifenoles totales (Figura 3, Tabla 3).

Tabla 1: Luminosidad (L*) tono ($^{\circ}$ hue) y saturación (Croma) del color de la pulpa cruda.

Mes	L*	$^{\circ}$ hue	Croma
0	66,6 a	75,1 b	67,1 b
2	64,8 a	75,1 b	64,5 b
4	63,3 b	61,2 a	70,1 a
6	64,4 ab	58,1 a	68,9 a

Letras iguales dentro de la misma columna indica que no hay diferencias estadísticas (Tukey $\geq 0,05$)

Los carotenoides, como α y β -carotenos y luteína entre otros, al igual que polifenoles como algunos flavonoides, son compuestos químicos que pigmentan naturalmente los vegetales con colores anaranjados y amarillos, y están involucrados en el color de la pulpa de zapallos (Danilchenko et al., 2000; Yao et al., 2004).

Materia seca. Sólidos solubles totales. pH. Acidez titulable. El contenido de materia seca, de sólidos solubles y la firmeza disminuyeron a partir del cuarto mes de almacenamiento (Tabla 2). Estos resultados probablemente estén explicados por el proceso de envejecimiento de los frutos, en el cual están involucrados metabolismos relacionados a la pérdida de materia seca y cambios de los componentes de las paredes celulares (Harvey et al., 1997; Cumarasamy et al., 2002; Iacuzzo & Dalla Costa, 2009). Al mismo tiempo se observó una leve acidificación de la pulpa (pH 6,16 a 5,94) al aumentar el tiempo de almacenamiento acompañado de un incremento de la acidez titulable.

Tabla 2: Contenido de materia seca (MS), Sólidos solubles totales (SST), Firmeza, pH y acidez titulable del jugo (AT).

Mes	MS (%)	SST (°Brix)	Firmeza (N)	pH	AT*
0	10,4 b	9,5 a	3,97 b	6,27 ab	9,5 a
2	11,2 a	9,5 a	3,94 b	6,38 b	10,8 a
4	9,4 c	8,2 b	3,83 ab	6,16 ab	6,4 b
6	8,1 d	6,6 b	3,26 a	5,94 a	11,8 a

Letras iguales dentro de la misma columna indica que no hay diferencias estadísticas (Tukey $\geq 0,05$). * (mg de ácido málico.100 ml⁻¹)

Trans- β -caroteno, α -caroteno y luteína. El contenido de carotenoides determinados en este estudio fueron hasta diez veces superiores a los reportados en otras especies por Danilchenko et al. (2000) e Icauzo y Dalla Costa (2009) en *Cucurbita moschata* (Butternut, Violina), *Cucurbita pepo* (Jack O'Lantern, Table Queen, Vegetable Spahettii, Yellow Crookneck, Sun Brust), *Cucurbita moschata* x *Cucurbita maxima* (Tetsukabuto). Por otro lado, Arvayo-Ortiz et al. (1994) cuantificaron valores similares en *Cucurbita maxima* (Delica) citando incremento de carotenos entre 5% a 180% durante el primer mes de conservación.

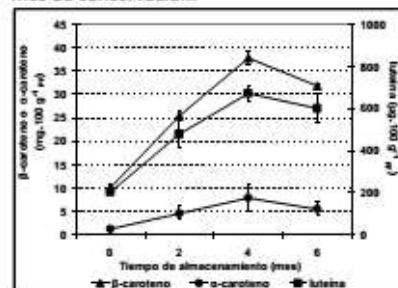


Figura 3. Contenido de trans- β -caroteno, α -caroteno y luteína en la pulpa cruda de zapallo durante el almacenamiento (0, 2, 4 y 6 meses). Media \pm DE.

En zapallos tipo kabutía el contenido de trans β -caroteno y luteína aumentaron un 330% hasta el cuarto mes de conservación (Figura 3). En este mismo momento el contenido de α -caroteno fue el más alto, solo

diferenciándose estadísticamente del contenido cuantificado al inicio de la conservación. La pulpa cruda de 100 g de este tipo de zapallo aportaría la totalidad de β -caroteno y luteína requerida diariamente en la ingesta de un adulto (WHO/FAO, (2003). Sin embargo debe considerarse que este tipo de alimento se consume con alguna forma de cocción la cual generalmente altera la disponibilidad de los carotenos (Gayathri et al., 2004).

Polifenoles totales y capacidad antioxidante.

Los polifenoles totales aumentaron hasta los cuatro meses de almacenamiento, por el contrario se determinó el valor más bajo en la capacidad antioxidante (Tabla 3). Esto indicaría que además de los polifenoles y carotenoides hay otros componentes de importancia involucrados en la capacidad antioxidante de la pulpa cruda de estos zapallos que explicarían en parte estos resultados.

Tabla 3: Polifenoles totales y capacidad antioxidante cada 100 g de peso fresco

Mes	Polifenoles Totales (mg AGE)	Capacidad Antioxidante (mg AAE)
0	37,2 b	12,9 b
2	39,3 b	12,4 b
4	50,0 a	9,4 c
6	42,1 ab	15,4 a

Letras iguales dentro de la misma columna indica que no hay diferencias estadísticas (Tukey $\geq 0,05$)

La vitamina C es uno de los antioxidantes en frutas y hortalizas que podría haber disminuido durante el periodo poscosecha (Lee & Kader, 2000). Los resultados obtenidos en acidez titulable al cuarto mes de conservación sugieren una disminución de ácidos orgánicos, entre ellos probablemente la vitamina C. Por otro lado el aumento de la capacidad antioxidante al final de la conservación puede deberse al estrés oxidativo por maduración y/o senescencia de los frutos (Toivonen, 2003).

CONCLUSIONES

Los frutos de zapallo "tipo kabutia" (cv. Maravilla del Mercado, Sakata) se conservan hasta un 93% con calidad comercial almacenados durante cuatro meses en condiciones refrigeradas (12°C y 80% HR). Los frutos que mantuvieron su calidad comercial a los cuatro meses de almacenamiento tuvieron una pérdida de peso de 5% respecto del su peso inicial. Además el almacenamiento con temperatura controlada permitió mantener atributos físicos como firmeza, materia seca, sólidos solubles totales, pH e incrementó el color y el contenido de β -caroteno y luteína. Estos resultados son útiles para la toma de decisiones en la comercialización de zapallos "tipo kabutia" tanto como frutos enteros y/o como materia prima para la industria del procesamiento relacionado.

AGRADECIMIENTOS

A Giovanni Galieta (MSc.) por el apoyo recibido en la cuantificación de carotenoides.

REFERENCIAS

- Arvayo-Ortiz, R.M.; Garza-Ortega, S. & Yahia, E. (1994). Postharvest response of winter squash to hot-water treatment, temperature and length of storage. *HortTechnology* 4 (3) 253-254.
- Barboza, R., Pacheco, P. & Pérez, A. (2002). Relevamiento de precios mayorista de frutas y hortalizas frescas. Manual de procedimientos. Manual de referencias técnicas por producto. Intendencia Municipal de Montevideo. Comisión Administradora del Mercado Modelo. Área producción y comercialización. Serie: Trabajos Técnicos. Noviembre de 2002. pp 64. <http://www4.mercadomodelo.net/trabajos/trabajo1.pdf>. Acceso 15/04/2014
- Bove M.I. & Cerruti F. (2008). Encuesta Nacional de Gastos e Ingresos de los Hogares 2005 – 2006, INE. Montevideo, Uruguay.
- Cantwell, M. & Suslow, T.V. (1998). Pumpkins and winter squashes. Recommendations for maintaining postharvest quality. *Perishables Handling Quarterly* 94:15-16.
- CAMM_DIGEGR. (2014). Zapallo. Observatorio Granjero. http://www.mercadomodelo.net/c/document_library/get_file?uuid=94f8a4a7-fac6-495a-9e01-9de13ee42b9c&groupId=10157. Acceso 10/08/2014.
- Cumarasamy, R., Corrigan, V., Hurst, P. & Bendall, M. (2002). Cultivar differences in New Zealand "Kabocha" (buttercup squash, *Cucurbita maxima*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 30 (3): 197-208.
- Danilchenko, H.; Paulauskiene, A.; Dris, R.; & Niskanen, R. (2000). Biochemical composition and processability of pumpkin cultivars. *Acta Horticulturae* 510: 493-497.
- DIEA (Dirección de Estadística Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Pesca). (2012). Anuario Estadístico Agropecuarios 2012. Montevideo. Uruguay. <<http://www.mgap.gub.uy/Dieaanterior/Anuario2012/DIEA-Anuario-2012web.pdf>. Acceso 15.08.2012.
- Gayathri, G.N., Kalpana Platel, Jamuna Prakash, Srinivasan, K. (2004). Influence of antioxidant spices on the retention of β -carotene in vegetables during domestic cooking processes. *Food Chemistry* 84 (1): 35-43.
- Harvey, W.J., Grant, D.G. & Lammerink, J.P. (1997). Physical and sensory changes during the development and storage of buttercup squash. *New Zealand J. of Crop and Hort. Science*. 25 (4): 341-351.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 28: 25 – 30.
- Lacuzzo, F., L. Dalla Costa, L. (2009). Yield performance, quality characteristics and fruit storability of winter squash cultivars

- in sub-humid areas. *Scientia Horticulturae* 120 (3): 330-335.
- Lee, S. K. & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20 (3) 207-220.
- Mc Guire, R.G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*. 27 (12) 1254-1255.
- Sollier, S., Zaccari, F. & Mandl, B. (2005), Elaboración del perfil y manual interpretativo de la norma de calidad de zapallos (*Cucurbita*, sp.), Montevideo: Facultad de Agronomía, MGAP, s,p, Uruguay, <http://www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/PI/doc/Normas%20%20Zapallo%20SUR%20%20-%202007%20k.pdf>. Acceso 15/08/2014.
- Toivonen, P. M. A. (2003). Effects of Storage Conditions and Postharvest Procedures on Oxidative Stress in Fruits and Vegetables. pg 60-90. En *Postharvest Oxidative Stress in Horticultural Crops*. Editor Hodges. D. M. Food Products Press. The Haworth Press, Inc., 10 Alice Street, Binghamton, NY. 247 pp.
- US 2010/0121112 A1. (2010). United States, Patent Application Publication, Chuang, Chia-Line; Li, Hsin-Ke & Chuand, Chong-Nan. Acceso 20/08/2014.
- Waterhouse, A.L. (2002). Determination of total phenolics En: R.E. Wrolstad (Ed) *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* (Units 1.1.1.1-1.1.8). New York, John Wiley and Sons.
- WHO/FAO. (2003). Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases. Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical Report Series 916, Geneva. World Health Organization/Food and Agriculture Organization of the United Nations. p. 150.
- Yao, L. H., Jiang, Y.M., Shi, J., Toma's-Barbera'n, F. A., Datta, N., Singanusong, R. & Chen, S. S. (2004). Flavonoids in Food and Their Health Benefits. *Plant Foods for Human Nutrition* 59: 113- 122.
- Zaccari, F., Cabrera, M.C., Ramos, A. & Saadoun, A. (2015). In vitro bioaccessibility of β -carotene, Ca, Mg and Zn in landrace carrots (*Daucus carota*, L.). *Food Chemistry* 166: 367-371.
- Zaccari, F. & Sollier, S. (1999). Perdidas en almacenamiento de zapallos híbridos tipo kabutía (*Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*): estudio de casos. *Agrociencia* (Uruguay) 3 (1): 77-79.

6.4. LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

	página
Cuadro No	
1. Contenido de algunos nutrientes, en pulpa cruda y cocida de boniatos y zapallos cada 100 g de pulpa en base fresca, y requerimientos diarios recomendados (RDA) para un adulto.....	2
2. Contenido de fibra dietética (g 100 g ⁻¹ peso fresco) en pulpa cocida de cultivares de boniato y zapallos almacenados durante 0 y 6 mese.....	43
3. Glucosa total (g) liberada en la digestión <i>in vitro</i> en 100 g de pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallos almacenados 0, 2, 4 y 6 meses.....	50
4. Total de β-caroteno (mg) liberado en la digestión <i>in vitro</i> en 100 g de pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallos almacenados 0, 2, 4 y 6 meses.....	54
5. Contenido total de glucosa (g 100 g ⁻¹ peso fresco) en la pulpa cruda y cocida y pérdida por cocción (%), para tres cultivares de boniatos y dos de zapallos en 0, 2, 4 y 6 meses.....	60
6. Contenido de trans-β-caroteno (mg 100 g ⁻¹ peso fresco) en pulpa cruda y cocida y la pérdida por cocción (%) en para tres cultivares de boniatos y dos cultivares de zapallos en 0, 2, 4 y 6 meses.....	63
7. Contenido de vitamina C (mg AAE 100 g ⁻¹ peso fresco) en pulpa cruda y cocida y la pérdida por cocción (%) en para tres cultivares de boniatos de zapallos en 0, 2, 4 y 6 meses.....	65
8. Contenido de fibra dietética (g 100 g ⁻¹ peso fresco) en pulpa cruda y cocida y la pérdida por cocción (%) en tres cultivares de boniatos y dos cultivares de zapallos en 0, 2, 4 y 6 meses.	67
9. Contenido de materia seca (g 100 g ⁻¹ peso fresco) en pulpa cruda y cocida y la pérdida por cocción (%) en tres cultivares de boniatos y dos cultivares de zapallos en 0, 2, 4 y 6meses.....	69

	página
Figura No.	
1. Cultivares de boniato y zapallos utilizados.....	2
2. Contenido total de glucosa (g 100 g ⁻¹ pf) en la pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallos almacenados durante seis.....	30
3. Contenido total de β-carotenos (mg), α-carotenos (mg), luteína (μg) y otros carotenoides (μg) en 100 g de pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallos almacenados durante seis mes.....	33
4. Contenido de Vitamina C (mg AAE 100 g ⁻¹ peso fresco) en pulpa cocida de cultivares de boniato y zapallos almacenados durante seis meses.....	41
5. Contenido de polifenoles totales (mg AGE 100 g ⁻¹ peso fresco) en pulpa cocida de cultivares de boniato y zapallos almacenados durante seis meses.....	46
6. Capacidad anitoxidante total (CAT, % inhibición del DPPH•) de la pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallos almacenados durante seis meses.....	48
7. Porcentaje de glucosa bioaccesible <i>in vitro</i> en la pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallos en diferentes tiempos de almacenamiento.....	51
8. Porcentaje de β-caroteno bioaccesible <i>in vitro</i> en la pulpa cocida de cultivares de boniatos y zapallos en diferentes tiempos de almacenamiento.	57