

Comparación del contenido de carotenoides en productos nutraceuticos elaborados a partir de dos variedades de camote y yuca

Carotenoids in nutraceutical products comparison derived from two varieties of sweet potato and cassava

Patricia Arguedas-Gamboa¹, Jesús Mora-Molina², Junior Sanabria-Mora³

Fecha de recepción: 8 de abril del 2015

Fecha de aprobación: 28 de julio del 2015

Arguedas-Gamboa, P; Mora-Molina, J; Sanabria-Mora, J. Comparación del contenido de carotenoides en productos nutraceuticos elaborados a partir de dos variedades de camote y yuca. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 4, Octubre-Diciembre. Pág 42-53.

1 Investigadora del Centro de Investigación y Gestión Agroindustrial (CIGA), Escuela de Ingeniería en Agronegocios. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: parguedas@itcr.ac.cr

2 Investigador del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jmora@itcr.ac.cr

3 Estudiante-asistente, Escuela de Ingeniería en Agronegocios. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: jrsamora16@gmail.com

Palabras clave

Carotenoides; β caroteno; cultivos biofortificados; camote; yuca; alimentos nutraceuticos; licuados infantiles y *snacks*.

Resumen

La expectativa de vida en los países latinoamericanos es de 74 años y Costa Rica supera este valor. El Banco Mundial reconoció que Costa Rica y Chile son los países con mayor esperanza de vida en el continente. Costa Rica tiene un promedio de 80 años y Chile de 79 (Organización Panamericana de la Salud, 2014). Esta nueva población se interesa más por la salud, la longevidad y el bienestar, tendencias que obligan a los productores de alimentos a buscar nuevas alternativas, para adicionar beneficios nutricionales a sus productos. Las universidades y las instituciones públicas, como los ministerios de Salud y de Agricultura, deben constituirse en un motor en el logro de este objetivo.

El proyecto de investigación "Desarrollo de alimentos nutraceuticos a partir de cultivos biofortificados para combatir el efecto del cambio climático en la seguridad alimentaria de Costa Rica", ejecutado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), liderado por la Escuela de Ingeniería en Agronegocios y con la participación de las escuelas de Química, Agronomía y Administración de Empresas, se ha iniciado con una visión etaria, es decir, se desarrollan los productos considerando las necesidades y características de tres poblaciones: niños menores de dos años, adolescentes y adultos mayores.

Para el desarrollo de estos productos se ha utilizado variedades de camote y de yuca biofortificadas con carotenos. Es necesario conocer la diferencia nutricional entre un producto elaborado con las variedades biofortificadas y uno elaborado con las variedades más comúnmente utilizadas por la población costarricense.

En este artículo se compara el contenido total de carotenoides en productos terminados elaborados a partir de dos variedades de camote y dos de yuca, una biofortificada y la otra no.

Para implementar la comparación, se trabajó en el desarrollo de un colado infantil y un snack para adolescentes. En la elaboración del colado infantil se utiliza camote, entre otros ingredientes, y para los snacks, tanto camote como yuca. Se realizaron tres corridas de cada uno de los productos, utilizando la misma materia prima, los mismos aditivos, la misma maquinaria y las mismas condiciones de proceso. En promedio se determinó que, usando variedades biofortificadas, la cantidad de carotenoides totales es diez veces mayor que cuando se utilizan variedades comunes. En los productos elaborados con variedades no fortificadas el promedio es de 300 μg - β caroteno/100 g. Este valor, en productos elaborados con cultivos biofortificados y utilizando exactamente las mismas técnicas de procesamiento, es de 4000 μg - β caroteno/100 g.

Keywords

Carotenoids; β -carotene; carotenoid bio fortified crops; manioc; sweet potatoes; nutraceutical food; home- made baby foods and baked snacks.

Abstract

Costa Rica's life expectation is the highest from Latin America. The average age for the whole continent is 74 years. The age for Costa Rica is 80 and for Chili is 79 (Organización Panamericana de la Salud, 2014). This situation is the result of an addition of variables, but it is obvious that

this little country has a population that is worried about factors as life style and nutrition. Food manufactory and food producers should offer new products, with a superior concentration of nutrients, instead of fats and processed carbohydrates (as sugars and starches). The government institutions, as public universities and ministries had to become a motor and support to achieve this objective.

A research group of the public university INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA, established a study project called “Desarrollo de alimentos nutraceuticos a partir de cultivos biofortificados para combatir el efecto del cambio climático en la seguridad alimentaria de Costa Rica”. The project is managed by a researcher of the Agrobusiness Department. Other Departments are collaborating too, as Chemistry, Business Management and Agricultural Engineering.

The new products development is focused in different age populations. The age groups selected are children from six to twenty-four months old, teenagers and finally elderly people. For the first group, it had been developed “home- made baby foods” and for the second one baked snacks. Researchers used carotenoid bio fortified crops, as manioc and sweet potatoes. Both crops are produced at the North side of Costa Rica.

To be sure that by using bio fortified crops is possible to obtain products with a higher concentration of nutrients, researchers made a comparison. They produced baby foods and nutraceutical snacks with biofortified crops and non-fortified crops. The total amount of carotenoid from the different samples was analyzed at the CITA (Centro Nacional de Investigación en Tecnología de Alimentos).

As a result, it was found that the total amount of carotenoids is ten times higher in products prepared with bio fortified crops than in products prepared with non bio fortified crops. It is important to take into account that the samples were prepared using the same procedures, equipment and ingredients. For the food products elaborated with non bio-fortified crops, the total carotenoids content is in average 300 µg/100 wet material. The same valor, using bio-fortified crops is 4000 µg/100 wet material.

Introducción

En los últimos años ha aumentado la tendencia a desarrollar productos alimentarios con alguna propiedad adicional, a la de dar placer sensorial y saciar el hambre del consumidor. El aspecto nutricional ha cobrado interés, y en la actualidad forma parte de la definición de “seguridad alimentaria”. Surgen así no solo las nuevas tendencias de producción y procesamiento de alimentos, sino una nomenclatura que a veces da lugar a una confusión de términos (Boucher, s.f.). Se habla de alimentos funcionales, alimentos nutraceuticos y cultivos biofortificados. El sector agroalimentario se ha enfocado en dar el máximo aprovechamiento a los diversos nutrientes y compuestos presentes en sus materias primas y en los residuos de las actividades de transformación. En este y otros trabajos, los autores hablarán de cultivos biofortificados para referirse a aquellos que tienen una alta densidad de nutrientes y se obtuvieron a través de las prácticas convencionales del mejoramiento genético vegetal, para producir mejores alimentos y combatir deficiencias de micronutrientes en el organismo humano. En otros casos, dichos cultivos pueden presentar carencia de elementos causantes de problemas de salud o intolerancias. Este es el caso de cultivos libres de gluten o de variedades de frijol con bajo contenido de inhibidores de tripsina. Con el reconocimiento creciente de los efectos devastadores de la desnutrición en la salud humana y en el bienestar socioeconómico, junto con la creciente inseguridad alimentaria en el mundo, la biofortificación se está convirtiendo en una estrategia nueva, sostenible, para mejorar la salud y el bienestar de las poblaciones más vulnerables (Ospina, 2012). Los alimentos funcionales y los nutraceuticos se considerarán

sinónimos. Se definen como alimentos similares en apariencia a los convencionales, pero han sido diseñados para cubrir un requerimiento nutricional específico o para impactar de manera positiva la salud de los consumidores.

Carotenoides. Estos compuestos se encuentran ampliamente difundidos en los vegetales, en forma de pigmentos rojos, naranjas y amarillos. El betacaroteno es el carotenoide más conocido y se puede encontrar en casi todas las frutas y hortalizas de color anaranjado, así como en los vegetales de hojas verdes. El betacaroteno es un precursor de la vitamina A.

Los carotenoides tienen la función de proteger las células vegetales de la oxidación y, por consiguiente, de la descomposición. Protegen las membranas celulares de la acción de los radicales libres. Los radicales libres son capaces de destruir las paredes celulares, inactivar enzimas, debilitar la capacidad defensiva y dañar el material genético-hereditario, lo que vuelve al organismo más propenso a la aparición del cáncer. Además, pueden ser causantes de otras enfermedades humanas crónicas no transmisibles como arteriosclerosis, trastornos del sistema nervioso central (Alzheimer y Parkinson), envejecimiento de la piel y cataratas, entre otras. Los estudios han demostrado que los carotenoides favorecen la producción de anticuerpos que actúan en forma específica contra las sustancias o elementos extraños que pueden afectar el organismo (Palencia, 2010).

El procesamiento de los alimentos tiene un papel decisivo en la preservación y la biodisponibilidad de estos compuestos antioxidantes. Muchas investigaciones han demostrado que los carotenoides, incluyendo las provitaminas A, están más concentrados en la cáscara que en la pulpa, por lo tanto, solo al pelar las frutas y vegetales se puede reducir considerablemente el contenido de provitamina A (Ayi Wong, 2008).

Los carotenoides son en su mayoría insolubles en agua, por lo tanto, las pérdidas por lixiviación durante el lavado y procesamiento son mínimas. No obstante, al ser compuestos altamente insaturados, son susceptibles a la isomerización y oxidación durante el procesamiento.

A pesar de su susceptibilidad a la descomposición, durante el procesamiento industrial se pueden retener los carotenoides si se siguen buenas prácticas tecnológicas.

Los tratamientos térmicos tienen efectos positivos y negativos sobre los carotenoides, debido a que promueven su oxidación pero también aumentan su biodisponibilidad. El calor siempre induce la isomerización cis-trans que se traduce en la formación de subproductos de los carotenoides (López, 2012).

Se recomienda el procesamiento a la temperatura más baja por el tiempo más breve posible, pero el procesamiento a alta temperatura y tiempo corto es una buena alternativa. El escaldado puede reducir el contenido de carotenoides en forma inicial pero evita mayores pérdidas posteriores durante el procesamiento (especialmente si es lento) y almacenamiento, por la inactivación de enzimas (Ayi Wong, 2008).

Los procesos de oxidación son estimulados por la pérdida de la integridad celular, de manera que los vegetales cortados y/o triturados ponen a sus células en contacto con sustancias que pueden modificar e incluso destruir los pigmentos. El grado de cambio en los carotenoides depende del tipo de vegetal, el método de cocción y las condiciones de tiempo y temperatura. El calor también provoca la inactivación de enzimas y la ruptura de estructuras del alimento, provocando un incremento en la biodisponibilidad (López, 2012).

Con lo anterior, se evidencia que la determinación de los carotenoides es un tanto compleja durante las diferentes etapas de los procesos productivos. La molécula se ve afectada por factores ambientales, de manejo y de proceso. Se debe evitar a toda costa la isomerización y oxidación de los carotenoides durante el análisis. Esto termina dando al método de muestreo

y de preparación de las muestras una importancia trascendental, pues si no se cuidan estos detalles, los resultados obtenidos serían poco confiables.

Según indica Rodríguez D. (1999), la provitamina A más importante es el β -caroteno tanto en términos de bioactividad como de amplia ocurrencia; también menciona que generalmente todas las muestras de alimentos carotenogénicos de plantas analizados hasta la fecha contienen β -caroteno como constituyente principal o menor. Estructuralmente, la vitamina A es esencialmente la mitad de la molécula de β -caroteno con una molécula adicional de agua en el extremo de la cadena lateral. Así, el β -caroteno es una potente provitamina A, a la que se le asigna un 100% de actividad.

Un problema serio de salud pública en los países en desarrollo es la deficiencia de vitamina A, ya que las fuentes dietarias de las provitaminas A continúan siendo la principal preocupación. Por tal razón, la incorporación de productos alimenticios ricos en carotenoides es de suma importancia para subsanar esta situación. Además, el enfoque en el mundo desarrollado ha girado en torno a los otros efectos que tienen los carotenoides en la promoción de la salud, tales como las propiedades nutracéuticas que presentan.

La importancia de determinar el contenido de provitamina A en los alimentos es fundamental. Sin embargo, debido a las dificultades inherentes a los análisis de los carotenoides, que a veces no son percibidas por los mismos analistas, todavía aparece como cuestionable la confiabilidad de una parte sustancial de la información existente. Por tal razón, es necesaria una buena comprensión de la naturaleza de los carotenoides para una buena realización del análisis y ayuda al investigador y así evitar las discrepancias en los resultados y la desinformación que persisten en la literatura (Rodríguez D., 1999).

Cualquiera sea el método escogido para el análisis de carotenoides, es esencial que se tomen las precauciones necesarias para evitar transformaciones y pérdidas cuantitativas durante este proceso. Estas incluyen principalmente (Davies 1976, Schiedt y Liaaen-Jensen 1995):

- Completar el análisis dentro del plazo más breve posible.
- Usar solventes de grado reactivo o destilados libres de impurezas nocivas, tales como éter etílico libre de peróxidos y tetrahidrofurano, o cloroformo libre de ácido.
- Proteger de la luz.
- Excluir oxígeno, por ejemplo, utilizando una atmósfera al vacío, de nitrógeno o de argón.
- Evitar altas temperaturas.

Generalidades del camote. Conocido por su nombre en latín como *Ipomoea batatas*, el camote es un cultivo de clima tropical que se ha utilizado desde tiempos ancestrales para la alimentación humana y animal. Se trata de una raíz reservante, originaria de la zona tropical (México y América Central) y que se caracteriza por tener un gran contenido de azúcares, almidón, betacaroteno y vitaminas, lo que lo hace una excelente opción para la elaboración de alimentos, extracción de almidón y alcohol. También se le conoce como batata o boniato y en inglés como *sweet potatoe*. En la actualidad, se cultiva en 82 países en desarrollo y destaca mundialmente por ser el séptimo cultivo alimentario más importante en términos de producción (ver figura 1). Es un cultivo que requiere pocos cuidados en materia agronómica, lo que implica un bajo costo de producción en comparación con otros. Al igual que en el caso de la yuca, el 96% de la producción mundial corresponde a países asiáticos y africanos, destacando China en el continente asiático y Uganda y Nigeria en África.

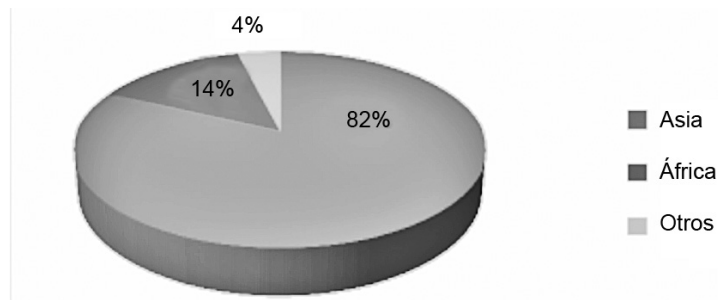


Figura 1. Participación en la producción mundial de camote, 2010. Fuente: (Medaglia, 2012)

En Costa Rica, el camote se siembra principalmente en las zonas de San Ramón, San Carlos y Los Chiles y en menor cantidad en Matina, Grecia y Upala.

Composición química y valor nutricional. El camote es un alimento que contiene altas cantidades de almidón, vitaminas, fibras (celulosa y pectinas) y minerales con valores próximos a los de otras hortalizas más comúnmente consumidas en Costa Rica. El contenido de carbohidratos del camote es superior al de la mayoría de las hortalizas, así como su contenido de fibra. Lo más sobresaliente de este cultivo quizás sea su alta concentración de provitamina A y carotenoides, por debajo solo de la zanahoria.

Variedades. Si bien los camotes que se encuentran más comúnmente en el mercado son de pulpa amarillenta o anaranjada, lo cierto es que también los hay de pulpa morada. Estas diferencias en llamativos colores se deben a la presencia de pigmentos carotenoides y antocianinas que se encuentran en diferentes proporciones, dependiendo de la variedad con que se trabaje. En camotes de pulpa amarillenta o anaranjada, la intensidad del color se asocia con un mayor contenido de betacaroteno. Por esta razón, las variedades de camote ricas en ese pigmento se utilizan para reducir la deficiencia de vitamina A en niños de muchos países de todo el mundo.

Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (Martí, 2011), existen variedades comerciales y experimentales de camote que, como se dijo antes, se diferencian en pulpa y cáscara principalmente por sus tonalidades. Actualmente, las variedades más comunes y de las que se originan la mayoría de las otras dispuestas en el mercado son:

Arapey: Variedad uruguaya, de alto rendimiento y ciclo corto.

Beauregard: Conocida también como Covington o Georgia Jet, es una variedad originaria de Estados Unidos, también de alto rendimiento y ciclo corto, con pulpa anaranjada apta para la exportación.

Usos frecuentes e industrialización. El camote se consume asado, al horno, hervido o frito. Su textura y sabor se adaptan a muchas recetas. En Costa Rica se consume en puré, pastel, en hojuelas y ampliamente en sopa. En otros países se pueden encontrar postres, helados y pan hechos con este producto, ya que también se puede obtener harina. La harina de camote tiene una característica que lo hace inconveniente para su uso en panificación: la carencia de gluten, que es un componente proteico responsable de la esponjosidad de los productos de panadería. No obstante, dicha característica lo hace atractivo en la elaboración de productos destinados a los celíacos, personas que presentan diferentes grados de intolerancia al gluten. Industrialmente, destaca la elaboración de hojuelas (*chips*) de camote, similares a las hechas con papa; y la producción de jugos, cervezas y colorantes para alimentos, a partir de variedades de pulpa morada y anaranjada. Así, por ejemplo, el soju es un aguardiente claro, tradicional en algunas regiones de Japón, que se prepara a partir de camote rico en antocianinas y carotenos que

le otorgan sabores frutales a la bebida. Actualmente se evalúa la posibilidad de usar residuos industriales de camote para producir aditivos de alimentos o suplementos nutricionales, ya que pueden ser fuente de fibras, compuestos antioxidantes y otras sustancias con efectos positivos sobre la salud (Martí, Corbino, & Chludil, 2011).

Generalidades de la yuca. La yuca (*Manihot sculenta* Crantz), también conocida como mandioca o cassava, es una especie vegetal de raíces amiláceas que se cultiva únicamente en los trópicos, generalmente en Suramérica. Es un cultivo de fácil adaptación, cuyos costos de producción son bajos, los rendimientos altos y que posee amplio uso en la industria alimentaria tanto humana como animal. (Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola, 1991).

A pesar de que la yuca es uno de los cultivos alimentarios más importantes de los países tropicales, fuera de ellos es muy poco conocida; incluso en el trópico se le considera a menudo un cultivo de subsistencia de baja categoría. Las mayores zonas de producción a nivel mundial son África y Asia, sin embargo, América del Sur se ha convertido en un fuerte competidor, con Brasil y Colombia a la cabeza. (Cock, 1997).

En Costa Rica, las áreas de mayor producción de yuca son: la Zona Norte, principalmente el cantón de San Carlos, la Zona Atlántica, en Guácimo y Pococí y Alajuela, en Grecia, Atenas, San Ramón y Palmares. Se dice que cualquier zona del país cuya altitud sea menor a los 1000 msnm es apta para la siembra de este cultivo (Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola, 1991).

Las exportaciones de yuca costarricense experimentaron una baja desde 2009 hasta 2011, cuando se alcanzó un repunte significativo. Incluso, según estimaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) correspondientes a junio de 2009, durante el primer trimestre de este año las exportaciones habrían bajado un 4,83% (9,81 toneladas) con respecto al mismo período de 2008 (Abreu, 2010).

Composición química y valor nutricional. La yuca es la tercera fuente más importante de calorías en las regiones tropicales, después del arroz y el maíz. Millones de personas dependen de la mandioca en África, Asia y América Latina. Es por esto que se ha considerado de vital importancia para la seguridad alimentaria de sus productores.

La yuca solo es superada por el maíz como fuente de almidón, y algunas variedades recién desarrolladas contienen en sus raíces un almidón muy solicitado por la industria (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2008).

Tanto sus raíces como sus hojas son adecuadas para el consumo humano. Las primeras son fuente de carbohidratos y las segundas de proteínas, minerales y vitaminas, particularmente carotenos y vitamina C (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Varietades. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) conserva en el banco de germoplasma in vitro, que constituye la mayor colección de yuca del mundo, 6073 clones discriminados en 5724 clones de *Manihot sculenta*, que incluyen cultivares primitivos, cultivares mejorados y material genético de especies silvestres (Aristizábal & Sánchez, 2007).

En Costa Rica, las variedades Valencia y Mangi son las más conocidas, aunque en experimentación la que ha dado mejor resultado es la Valencia. Asimismo, cabe mencionar que muchas de las variedades desarrolladas por el CIAT, que han producido altos rendimientos, se ponen a prueba actualmente en el país (Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola, 1991).

Usos frecuentes e industrialización. Dependiendo del uso final de la yuca, esta puede ser clasificada como de calidad culinaria cuando se destina al consumo humano directo; como industrial cuando se usa para la producción de subproductos tales como harina, almidón,

trozos secos; o como doble propósito, es decir, fenotipos que podrían ser usados tanto para el consumo humano como industrial. Actualmente, los programas de mejoramiento genético están dirigidos a la búsqueda de variedades específicas para la industria, ya que las variedades de doble propósito resultan en algunos casos inadecuadas para consumo en fresco o para la industria (Aristizábal & Sánchez, 2007).

Tradicionalmente, en Costa Rica se produce yuca para consumo humano y no se ha logrado desarrollar un paquete tecnológico que ayude a los productores a aumentar su productividad, que ronda apenas las diez y doce toneladas por hectárea (Abreu, 2010).

Según un estudio del Servicio de Información e Inteligencia de Mercados (SIIM) del Consejo Nacional de Producción (CNP) en 2012, Costa Rica aporta el 89% de la yuca que importa Estados Unidos, siendo esta raíz exportada de dos maneras: congelada, de la que se vendieron 9.966 toneladas entre enero y julio de este año, y fresca o parafinada (cubierta con parafina), de la que se vendieron 22.176 toneladas en los primeros siete meses del año (Barquero, 2012).

Compuestos bioactivos. Las frutas y vegetales siempre han sido considerados fuente importante de vitaminas y minerales, sin embargo, cada día adquieren mayor relevancia desde el punto de vista nutritivo debido a su contenido de componentes biológicamente activos, sobre todo compuestos con propiedades antioxidantes. Estos se utilizan en diferentes áreas, tales como agroindustria, alimentación, farmacia y medicina. Estos compuestos son sustancias biológicamente activas presentes, fundamentalmente, en alimentos de origen vegetal. Algunos tienen efectos beneficiosos adicionales para la salud, más allá de las funciones fisiológicas normales, confiriendo un carácter funcional a los alimentos que los contienen (Palencia, 2010).

Colados infantiles. Papillas, compotas y colados han sido por naturaleza los sinónimos más utilizados para referirse de manera genérica a aquellos alimentos en cuyos ingredientes predominan una o varias frutas, verduras, legumbres o incluso carnes y además en su elaboración intermedia un proceso térmico o de cocción. Estos se destinan primordialmente a la nutrición de niños pequeños o personas mayores con problemas de digestión o masticación (Álvarez, Serna, & Villada, 2012).

Snack horneado. Se entiende por *snack* un producto alimentario que se puede consumir frío o caliente, líquido o sólido, que requiere de poca o ninguna preparación y se presenta en porciones pequeñas, que satisface el hambre ocasional y es, cada vez con mayor frecuencia, sustituto de las comidas formales (López, 2012).

Muchos productos entran dentro de esta categoría, como los tubérculos (fritos, extruidos o en *pellets*) y los productos de maíz (fritos, horneados, extruidos o tipo tortilla). Los consumidores se preocupan cada vez más por lo que comen y por los efectos que los alimentos pueden producir en su organismo. El mercado de estos productos ofrece, como respuesta a los nuevos hábitos de consumo, los llamados *snacks* saludables, entre los cuales están los horneados, siendo una de las principales alternativas debido a que contienen menos grasa.

El horneado es un proceso en el que ocurre una serie de cambios físicos, químicos y biológicos como: evaporación del agua, formación de estructuras porosas, expansión del volumen, desnaturalización de la proteína, gelatinización del almidón, formación de corteza y reacciones de Maillard. Además se modifican la textura, el color, el sabor y el contenido de humedad de los alimentos. Como consecuencia se desarrollan nuevos sabores y colores (López, 2012). El objetivo principal de la operación de horneado es modificar las características sensoriales de un alimento por la acción directa del calor comestible un alimento, haciéndolo agradable para su consumo (Fito, Andrés, Barat, & Albors, 2001).

Materiales y métodos

El análisis de carotenoides fue realizado por el laboratorio del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) de la Universidad de Costa Rica, con el método de espectrofotometría UV visible.

Se realizaron tres corridas de cada producto (colados y *snacks*). En cada una se trabajó un producto con la variedad biofortificada y otro con la variedad común (ver figura 2). Además de otros ingredientes, en el caso de los colados infantiles el cultivo biofortificado fue el camote. En el caso de los *snacks*, se usó una mezcla de camote y yuca. El camote se adicionó en forma de pasta o puré y la yuca como harina (previamente elaborada en la Planta Piloto del Centro de Investigación y Gestión Agroindustrial –CIGA– por el mismo equipo de trabajo).

El camote biofortificado utilizado es de la variedad Covington y fue sembrado para el proyecto por el M.Sc. Sergio Torres en las fincas de la Sede Regional del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) en Santa Clara de San Carlos, provincia de Alajuela. La variedad no biofortificada se conoce como guapileña y también se sembró en las fincas del TEC.

La yuca fue sembrada en la Estación Experimental Los Diamantes en Guápiles, provincia de Limón. La variedad biofortificada se trajo de Colombia y está identificada como CM 2772-13, mientras que la no biofortificada es la Valencia.

Se realizaron tres corridas de cada uno de los productos, utilizando la misma materia prima, los mismos aditivos, la misma maquinaria y las mismas condiciones de proceso.

Las muestras de los productos elaborados se seleccionaron con muestreo aleatorio simple y se rotularon con información conocida solamente por los investigadores, de manera que el laboratorio de análisis no tuviera factores que pudieran causar un sesgo.

Los resultados obtenidos fueron analizados para definir la significancia en la diferencia del contenido de carotenoides totales por la técnica de análisis de variancia de un factor, con una confianza del 95% en las conclusiones obtenidas tras aplicar esta técnica estadística.

Resultados

Los resultados obtenidos de la composición de carotenoides totales en productos elaborados a partir de camote y yuca fortificados y no fortificados se aprecian en el cuadro 1. Se puede observar que en promedio la cantidad de carotenoides totales es diez veces mayor en los productos elaborados con variedades biofortificadas que cuando se utilizan variedades comunes. En los productos elaborados con variedades no fortificadas, el promedio es de 300 $\mu\text{g-}\beta\text{caroteno}/100\text{ g}$. Este valor, en productos elaborados con cultivos biofortificados y utilizando exactamente las mismas técnicas de procesamiento, es de 4000 $\mu\text{g-}\beta\text{caroteno}/100\text{ g}$.

Análisis estadístico. Se aplicó análisis de variancia de un factor, los grados de libertad fueron de dos (tres repeticiones) y $\alpha = 0.05$. Esto implica que se puede tener un 95% de confianza en las conclusiones obtenidas a partir de esta técnica estadística. Se comparó el contenido de carotenoides totales de cada producto elaborado a partir de variedades fortificadas, con el mismo producto obtenido de variedades no fortificadas. Esto es: P1 versus P4, P2 versus P5 y P3 versus P6 y los resultados se muestran en el cuadro 2.

Se generan, por tanto, tres hipótesis nulas, de las cuales se presenta una de ellas:

El contenido de carotenoides totales del colado de camote con maracuyá usando la variedad biofortificada es significativamente mayor que el mismo contenido en el producto elaborado con variedad no fortificada.

Cuadro 1. Composición de carotenoides totales en productos elaborados a partir de camote y yuca fortificados y no fortificados ($\mu\text{g}\beta\text{-caroteno}/100\text{ g}$).

Identificación	Productos	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio
P1	Colado de camote con maracuyá, variedad fortificada	4596	2660	3919	3725
P2	Colado de camote con plátano, variedad fortificada	3205	3689	3787	3560
P3	<i>Snack</i> de camote y yuca, variedades fortificadas	4230	5302	4153	4562
P4	Colado de camote con maracuyá, variedad no fortificada	214	291	374	293
P5	Colado de camote con plátano, variedad no fortificada	252	241	414	302
P6	<i>Snack</i> de camote y yuca, variedades no fortificadas	346	202	338	295

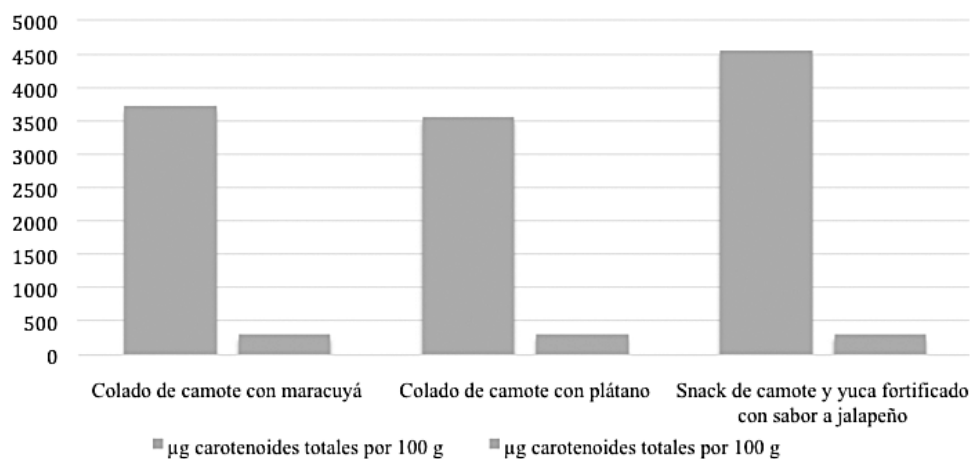


Figura 2. Comparación de los productos elaborados (colados y *snacks*) a partir de materias primas biofortificadas y no biofortificadas.

Cuadro 2. Resultado del análisis de varianza

Parámetro estadístico	Combinación		
	P1 versus P4	P2 versus P5	P3 versus P6
Valor crítico F	7,71	7,71	7,71
F	36,37	299,06	130,29

Conclusiones

En promedio, el contenido de carotenoides totales en productos elaborados con variedades de cultivos fortificados es diez veces mayor que en los elaborados con los cultivos de variedades no fortificadas (300 μg - β caroteno/100 g versus 4000 μg - β caroteno/100 g).

Como conclusión general, queda demostrado que, independientemente de que durante todo el proceso tecnológico se produzcan pérdidas y modificaciones de los carotenoides, el uso de variedades biológicamente ricas en estos compuestos está justificado desde el punto de vista nutricional. En una próxima publicación, los autores estarán ofreciendo información detallada de las pérdidas provocadas por diferentes etapas del proceso y por el almacenamiento.

En este caso particular, por el hecho de que el nutriente estudiado es un pigmento natural, los productos elaborados con cultivos biofortificados, además de ser más nutritivos, son más agradables a la vista, debido a sus atractivos tonos anaranjados-rosados. Esto hace que sean más aceptados por las poblaciones meta: niños y adolescentes.

Con el propósito de conocer mejor la dinámica de la transformación de los carotenoides unos en otros, pérdida o ganancia de actividad vitamínica en detrimento o ganancia de la actividad antioxidante, se recomienda realizar otras determinaciones específicas, como los contenidos de β -caroteno y de vitamina A. De esta manera, además de conocer el valor nutracéutico de los productos desarrollados, los investigadores estarán en capacidad de recomendar la dosis ideal de consumo para satisfacer las necesidades vitamínicas de las poblaciones meta.

De acuerdo con el análisis de varianza realizado, las hipótesis nulas quedan rechazadas y como consecuencia se acepta la hipótesis alternativa. La diferencia en contenido de carotenoides totales es mayor en los productos elaborados con cultivos biofortificados.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento por el apoyo financiero al Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), en especial a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, por el apoyo de tiempos y administrativo. También agradecen al Centro de Investigación y Gestión Agroindustrial (CIGA) de la Escuela de Ingeniería en Agronegocios y al Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) de la Escuela de Química, por su gran respaldo al proyecto. Se agradece al Ingeniero Agrónomo Sergio Torres, coordinador del Centro de Investigación y Desarrollo en Agricultura Sostenible para el Trópico Húmedo (CIDASHT) de la Escuela de Agronomía, Sede Regional de San Carlos, por la siembra y suministro puntual de las variedades requeridas en la cantidad y el momento requeridos. Se agradece a los asistentes del proyecto Sofía Solano, Dayana Benavides y Anouk Damiens.

Bibliografía

- Abreu, F. (2010). Productores costarricenses de yuca analizan alternativas de producción. IICA Conexión(16).
- Álvarez, M. V., Serna, S., & Villada, E. (2012). Papilla de arroz instantánea para niños de 12 a 36 meses fortificada con micronutrientes: Una alternativa para la alimentación infantil. Antioquia: Corporación Universitaria Lasallista.
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Ayi Wong, D. (2008). Desarrollo de un snack tipo tortilla a base de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth). San José: Universidad de Costa Rica.
- Barquero, M. (2012, Octubre 8). Costa Rica aporta el 89% de la yuca que se consume en Estados Unidos. La Nación.
- CLAYUCA. (2005, Octubre 10). Yuca se utilizará para fabricación de etanol. La Nación .

- Cock, J. (1997). La Yuca, Nuevo potencial para un cultivo tradicional. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Davies, B. H. (1976). Carotenoids. (T. W. Goodwin, Szerk.) Chemistry and biochemistry of plant pigments, 38-165.
- Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. (1991). Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. San José: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Espinola, N., Creed, H., Ugaz, M. E., & van Hal, M. (1998). Desarrollo de un Alimento Complementario con Camote para niños de 6 meses a 3 años. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Espinola, N., Creed, H., Ugaz, M. E., & van Hal, M. (1998). Desarrollo de un Alimento Complementario con Camote para niños de 6 meses a 3 años. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Fito, P., Andrés, A. M., Barat, J., & Albors, A. (2001). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- López, R. (2012). Evaluación del efecto de condiciones de horneado sobre el contenido de antioxidantes de un snack de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.) y valoración de la aceptación por parte de los consumidores. San José: Universidad de Costa Rica.
- Martí, H., Corbino, G., & Chludil, H. (2011. febrero-marzo). La batata: el redescubrimiento de un cultivo. *Journal of Plant Nutrition*, 21(121), 17-23.
- Medaglia, C. (2012). El mercado de raíces y tubérculos en la Unión Europea. Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica, San José.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2008). ¿Por qué la mandioca? Forrás: Agricultura: http://www.fao.org/ag/agp/agpc/gcnds/index_es.html
- Palencia, Y. (2010). Sustancias bioactivas en los alimentos. Zaragoza: UNIZAR.
- Rodríguez, D. (1999). Carotenoides y preparación de alimentos: la retención de los carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados. USA: Jhon Snow, Inc/ OMNI Project.
- Schiedt, K., & Liaaen-Jensen, S. (1995). Carotenoids. (G. Britton, S. Liaaen-Jensen, & H. Pfander, szerk.) Isolation and analysis, 1A, 81-108.