
FRUTOS TROPICALES MÍNIMAMENTE PROCESADOS: POTENCIAL ANTIOXIDANTE Y SU IMPACTO EN LA SALUD

MARIBEL ROBLES-SÁNCHEZ, SHELA GORINSTEIN,
OLGA MARTÍN-BELLOSO, HUMBERTO ASTIAZARÁN-GARCÍA
GUSTAVO GONZÁLEZ-AGUILAR y REINALDO CRUZ-VALENZUELA

RESUMEN

El desarrollo de tecnologías suaves no-térmicas y efectivas, o su combinación, puede permitir ofrecer al consumidor frutos tropicales frescos cortados, microbiológicamente seguros, con valor nutricional y calidad sensorial lo más cercanos al producto intacto. Frutos tropicales tales como mango, papaya, piña y cambur almacenados a bajas temperaturas en combinación con atmósferas controladas y/o modificadas conservan su calidad comercial hasta por 10 días para el caso de mango y por 8 y 7 días para papaya y piña, respectivamente. En estos frutos han sido muy pocos los estudios en relación a los efectos del procesamiento mínimo sobre su composición nutricional y potencial antioxidante, esto último atribuido a componentes bioactivos tales como vitamina C y E, carotenoides y polifenoles, los cuales

han sido fuertemente asociados a la prevención de ciertas enfermedades crónico-degenerativas. Estos componentes bioactivos se encuentran en cantidades significativas en los frutos tropicales y a la fecha solo ha sido evaluada su actividad antioxidante medida como su capacidad de absorción de radical oxígeno (ORAC) en los frutos enteros, reportándose valores entre 7 y 11 $\mu\text{mol ET/g}$. Se desconoce en gran medida cómo se afectan estos valores una vez que los frutos han sido procesados y almacenados. En este trabajo se revisan algunos aspectos relacionados con el procesamiento mínimo de frutas tropicales y el efecto que éste tiene sobre sus constituyentes antioxidantes, además se resalta la importancia de la evaluación de la actividad antioxidante total en frutos frescos cortados y su acción biológica in vivo.

Los vegetales mínimamente procesados son definidos como cualquier fruta u hortaliza que ha sido alterada físicamente a partir de su forma original, pero que mantiene su estado fresco (IFPA, 2002). El verdadero reto

en el desarrollo de estos nuevos productos es conseguir procesos novedosos o estrategias de conservación que permitan la obtención de alimentos seguros con sus propiedades nutricionales y características benéficas para la salud muy poco modificadas e incluso potenciadas.

Los frutos frescos cortados (FFC), son un tipo de productos preparados mediante operaciones unitarias de selección, lavado, pelado, deshuesado, cortado, etc.; higienizados mediante derivados clorados, peróxido de hidrógeno, ozono, antimicrobianos naturales y otros; tratados

PALABRAS CLAVE / Carotenos / Fenoles / Frutas Tropicales / Procesamiento Mínimo / Vitamina C /

Recibido: 08/09/2006. Modificado: 01/02/2007. Aceptado: 16/02/2007.

Rosario Maribel Robles-Sánchez. Estudiante de Doctorado en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Hermosillo, Sonora, México. e-mail: mrobles@estudiantes.ciad.mx

Shela Gorinstein. Ph.D. Moscow and Lvov Polytechnic Institutes. USSR. Investigador del Departamento de Química Medicinal y Productos Naturales. Escuela de Farmacia. Universidad Hebrea de Jerusalen, Israel. e-mail: gorin@cc.huji.ac.il.

Olga Martín-Belloso. Doctora en Ciencias Químicas. Docente e Investigador en el Departamento de Tecnología de Alimentos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Lleida, España. e-mail: omartin@tecal.udl.es

Humberto Astiazarán-García. Doctor en Ciencias, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, CINVESTAV, IPN, México. Investigador Titular CIAD, México. e-mail: hastiazaran@cascabel.ciad.mx

Gustavo González-Aguilar. Doctor en Ciencias. Universitat de Valencia, España. Investigador CIAD, México. Dirección: Carrera La Victoria Km. 0.6 A.P. 1735 Hermosillo Sonora (83000). México. e-mail: gustavo@cascabel.ciad.mx

Reynaldo Cruz-Valenzuela. Maestro en Ciencias, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP. Brasil. Investigador Asociado CIAD, México. e-mail: reynaldo@cascabel.ciad.mx

con agentes estabilizadores de color tales como ácido ascórbico y eritórbito, retenedores de firmeza (sales de calcio) y envasados en bolsas o bandejas con la inyección de distintos sistemas gaseosos que permitan mantener una atmósfera modificada en su interior (Soliva-Fortuny y Martín Belloso, 2003). Son conservados, distribuidos y comercializados bajo refrigeración (2-5°C) y están listos para ser consumidos durante 7 a 14 días según el producto y técnica de conservación utilizada (Ahvenainen, 2000).

Los programas de promoción de consumo de frutas implementados por las oficinas de salud pública, así como la creciente demanda de alimentos fáciles de consumir, han favorecido el continuo incremento de ventas de los FFC (Hodge, 2003). Actualmente, los FFC más comunes en el mercado son piña, melón, sandía, manzana, pera y uva (Cooperhouse, 2003). Frutos tropicales como el mango, papaya y plátano están llamados a formar parte del mercado de los FFC, dada su alta preferencia por parte del consumidor y su disponibilidad. Además de su atractivo color y olor, los frutos tropicales poseen cantidades importantes de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, tales como las vitaminas C y E, carotenoides y polifenoles, especialmente flavonoides.

Estudios epidemiológicos han demostrado que el consumo de frutas tiene un efecto benéfico en la salud y contribuye a la prevención de procesos degenerativos, particularmente aterosclerosis y cáncer (Temple, 2000; Hashimoto *et al.*, 2002; Gundgaard *et al.*, 2003; Gossiau y Chen, 2004). Estos efectos benéficos han sido atribuidos en parte a la presencia de componentes bioactivos con actividad antioxidante, cuyo mecanismo de acción es inhibir la iniciación o impedir la propagación de las reacciones de oxidación, evitándose así el daño oxidativo (Shi *et al.*, 2001). Por esta razón, el consumidor debe valorar positivamente aquellos alimentos vegetales que no solo le proporcionan nutrientes indispensables para la vida (hidratos de carbono, proteínas, vitaminas, etc.), sino que además posean sustancias con un posible efecto protector como es el caso de los antioxidantes (Prior y Cao, 2000).

Sin embargo, el procesamiento mínimo (pelado y cortado) de los frutos puede afectar el contenido, composición, actividad y biodisponibilidad de los antioxidantes. En frutos tropicales en particular, se desconoce si las pérdidas ocasionadas por el cortado y rebanado son significativas en relación al producto intacto. Es relevante tomar en cuenta tales pérdidas, sobre todo al momento de calcular el consumo dietario de antioxidantes a partir de los frutos procesados (Podsędek, 2007).

Efecto del Procesamiento Mínimo sobre la Capacidad Antioxidante

Si bien las pérdidas postcosecha de frutas tropicales son un serio problema debido al rápido deterioro durante el manejo, transporte y almacenamiento (Yahia, 1998), los procesos de pelado y cortado agravan el problema, ya que se incrementa la actividad metabólica y descompartmentalización de enzimas y sustratos, causando oscurecimiento, ablandamiento, deterioro microbiológico y desarrollo de sabores y olores indeseables. El procesamiento mínimo da como resultado el incremento en la tasa de respiración y producción de etileno del producto en minutos y puede reducir la vida media de 1-2 semanas a solo 1-3 días, aun cuando las temperaturas sean las óptimas (Ahvenainen, 1996). Todos estos cambios suponen un impacto potencial en los compuestos fitoquímicos y en las propiedades antioxidantes beneficiosas para la salud que poseen los frutos en su estado intacto.

Los constituyentes antioxidantes de los FFC son muy susceptibles a degradación cuando se exponen a oxígeno, luz y altas temperaturas (Klein, 1987; Huxsoll *et al.*, 1989; Bode *et al.*, 1990, citados por Gil *et al.*, 2006). De la misma forma, los procesos de sanitización donde se emplean compuestos con bajo pH (2-3) como sucede al utilizar Sanova® y Tsunami® e hipocloritos, pueden favorecer en diferente medida la oxidación y daño del tejido, dependiendo del cultivar y estado de madurez (Ruiz-Cruz, 2005). Cuando los FFC se almacenan por períodos largos (2-3 semanas) se pueden producir pérdidas substanciales de vitamina C y otros compuestos bioactivos (Núñez *et al.*, 1998; Lee y Kader, 2000). Por otra parte, el oscurecimiento del tejido debido a la degradación de fenoles, catalizada por la enzima polifenol oxidasa (PPO), además de afectar la apariencia del producto disminuye la actividad antioxidante por la pérdida de esos compuestos (Salveit, 1997). El cortado promueve la síntesis de etileno, acelerando los procesos de senescencia del producto donde tiene lugar la oxidación de compuestos bioactivos (Watada *et al.*, 1990). Durante la senescencia, la acción de la enzima lipoxigenasa (LOX) resulta en la oxidación de ácidos grasos y al mismo tiempo, los carotenoides pueden degradarse por co-oxidación (Thompson *et al.*, 1987).

Los estudios sobre mantenimiento de la calidad comercial y potencial antioxidante en frutos tropicales frescos cortados son escasos. Los trabajos publicados han sido enfocados hacia la ex-

tensión de la vida de anaquel, más que al efecto sobre los constituyentes bioactivos. Estudios en mango fresco cortado (Chan-tanawarangoon, 2000; González-Aguilar *et al.*, 2000; Gorny, 2001; Rattanapanone *et al.*, 2001; Martínez-Ferrer *et al.*, 2002; Plotto *et al.*, 2004; Gil *et al.*, 2006) han demostrado que el almacenamiento en frío (0-5°C) en atmósferas controladas y/o modificadas, tratado con estabilizadores de color y retenedores de firmeza, puede extender la vida de anaquel hasta por 10 días sin cambios aparentes en su calidad comercial, pero con pérdidas del 10 y 5% en carotenos y vitamina C, respectivamente. González-Aguilar *et al.* (2006) demostraron que bajo ciertas condiciones de envasado y almacenamiento, la irradiación ultravioleta (UV-C) puede ser utilizada para mantener la calidad comercial, prevenir la pérdida de nutrientes y reducir el deterioro de frutos de mango fresco cortado.

En piña, los cambios en calidad comercial posterior al proceso de cortado han sido más dramáticos. Gil *et al.* (2006) reportaron que después de 6 días de almacenamiento había evidente pérdida de la calidad comercial, y pérdidas en carotenos y vitamina C hasta del 25 y 10%, respectivamente. González-Aguilar *et al.* (2005) lograron extender hasta 7 días la vida de anaquel de rodajas de piña tratada con agentes estabilizadores de color, manteniendo altos niveles de ácido ascórbico. La papaya es otro de los frutos tropicales que está teniendo gran demanda como fruto cortado. De los escasos estudios en papaya fresca cortada destacan los realizados por Rivera-López *et al.* (2005), quienes evaluaron el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre algunos componentes bioactivos y la actividad antioxidante en frutos cortados en rodajas y cubos. Los resultados mostraron que los cubos o rebanadas de papaya pueden permanecer hasta 8 días almacenados a 5°C sin cambios significativos en sus calidad comercial y componentes bioactivos (Vitamina C y β -carotenos) y capacidad antioxidante total.

En general, los avances en los estudios en frutos frescos cortados de origen tropical no han sido muy significativos. Por lo que los investigadores en tecnología de alimentos se han dedicado al desarrollo de nuevas tecnologías de conservación suaves no-térmicas, que prolonguen la vida útil de estos productos en óptimas condiciones de calidad, sin comprometer la seguridad microbiológica ni las propiedades sensoriales y procurando que los cambios en las propiedades nutricionales y antioxidantes sean mínimos (Cano *et al.*, 2005; De Ancos *et al.*, 2006).

Evaluación de la Actividad Antioxidante en Frutas

Actualmente se requiere de la evaluación de la capacidad antioxidante para determinar la eficiencia de los antioxidantes naturales, en relación a la protección de productos vegetales contra el daño oxidativo y pérdida de su valor comercial y nutricional (Sánchez-Moreno, 2002).

Las características esenciales de cualquier prueba de evaluación de la capacidad antioxidante son un sustrato adecuado en el cual pueda ser monitoreada la inhibición de la oxidación, un iniciador de la oxidación (radical libre) y una adecuada medición del punto final de la oxidación, la que puede llevarse a cabo por métodos químicos, instrumentales o sensoriales (Arnao *et al.*, 1999; Robards *et al.*, 1999). A pesar de la diversidad de métodos existentes para la evaluación de la actividad antioxidante, hay necesidad de estandarizarlos para diferentes productos y así obtener medidas comparables.

Prior *et al.* (2005) revisaron los métodos disponibles para medir actividad antioxidante sugiriendo tres ensayos para estandarizar su determinación, a saber, la capacidad de absorbancia del radical oxígeno (*oxygen radical absorbance capacity*; ORAC) y la capacidad antioxidante equivalentes trolox (*trolox equivalent antioxidant capacity*; TEAC), que utilizan AAPH (2,2'-Azobis (2-amidino-propane) dihydrochloride) y ABTS (2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazolone-6-sulfonic acid)) como generadores de radicales libres, respectivamente, y el método de Folin-Ciocalteu, cuyo fundamento está sustentado en una reacción de óxido-reducción, por lo que se considera una forma de medir actividad antioxidante en función del contenido de fenoles en productos vegetales. La Tabla I muestra un resumen de los principales ensayos para medir la actividad antioxidante *in vitro*. Dada la naturaleza hidrofílica y lipofílica de los componentes antioxidantes presentes en los frutos tropicales, estos ensayos pudieran ser los métodos más recomendados para evaluar su capacidad antioxidante.

Varios estudios sobre la evaluación de la capacidad antioxidante en frutos han revelado aspectos interesantes en relación al comportamiento de los constituyentes antioxidantes. Eberhardt *et al.* (2000) en un estudio realizado en manzanas, demostraron que la vitamina C por sí sola aporta menos del 0,4% de la actividad antioxidante total del fruto, sugiriendo que la mezcla compleja de antioxidantes en las frutas proporcionan beneficios sobre la salud, principalmente

TABLA I
ENSAYOS PARA MEDIR CAPACIDAD ANTIOXIDANTE *IN VITRO*

Con transferencia de un átomo de hidrógeno (HAT)	Mecanismos
ORAC (Oxygen radical absorbance capacity)	$ROO\cdot + AH \rightarrow ROOH + A\cdot$
TRAP (Total radical trapping antioxidant parameter)	$ROO\cdot + LH \rightarrow ROOH + L\cdot$
Inhibición de oxidación de ácido linoléico	
Inhibición de oxidación de LDL	
Con transferencia de un electrón (SET)	$M(n) + e(\text{de AH}) \rightarrow AH\cdot + M(n-1)$
TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity)	
FRAP (Ferric ion reducing antioxidant parameter)	
DPPH (Diphenyl-1-picrylhydrazyl)	
Ensayo de fenoles totales por Folin-Ciocalteu	

Fuente: Huang *et al.* (2005)

te a través de la combinación de efectos aditivos y/o sinérgicos. Cao *et al.* (1996) y Wang *et al.* (1996) realizaron estudios en frutas y hortalizas, demostrando que la mayor parte de la actividad antioxidante proviene principalmente del contenido de flavonoides y otros compuestos fenólicos. Por otra parte, estudios en nectarinas, duraznos y ciruelas (Gil *et al.*, 2002), y cítricos (Gorinstein *et al.*, 2004), han demostrado que existe una correlación significativa entre la actividad antioxidante y los polifenoles totales.

En frutos tropicales cortados son escasos los estudios donde se ha evaluado la actividad antioxidante y solo se dispone de datos para frutos enteros como el mango, piña y plátano. La actividad antioxidante ha sido reportada (USDA, 1999; Wu *et al.*, 2004; Rivera-López *et al.*, 2005; Tabla II) como capacidad antioxidante total (CAT), que corresponde a la suma de antioxidantes lipofílicos (L-ORAC) y antioxidantes hidrofílicos (H-ORAC). Destacan entre estos frutos el mango y el plátano, con los valores más altos de CAT (10,02 y 8,79 $\mu\text{mol ET/g}$, respectivamente). También destacan estos dos frutos por su contenido de fenoles totales (2,66 y 2,31 mg EAG/g). Los valores de CAT para estos frutos pudieran estar siendo subestimados, dado que la técnica de ORAC no contempla la actividad antioxidante proporcionada por los carotenoides (antioxidantes lipofílicos), ya que este

grupo de compuestos siguen otro mecanismo de reacción para atrapar radicales libres (Huang *et al.*, 2002).

Pellegrini *et al.* (1999) demostraron que mediante la técnica de TEAC es posible medir actividad antioxidante en productos vegetales ricos en carotenoides. Sin embargo, esta actividad antioxidante total *in vitro* no necesariamente refleja las condiciones fisiológicas celulares, ni considera la biodisponibilidad y metabolismo de sus componentes. Además, los mecanismos de acción de antioxidantes van más allá de la actividad antioxidante de captura de radicales libres en la prevención de enfermedades y promoción de la salud.

Respuesta *in vivo* de Componentes Bioactivos con Actividad Antioxidante

Las frutas son fuentes ricas en antioxidantes y es ampliamente aceptado que además de las vitaminas C y E, los carotenoides y polifenoles juegan un papel muy importante *in vivo*. Más del 85% de la vitamina C es proporcionada por las frutas y vegetales (Davey *et al.*, 2000; Lee y Kader, 2000). En este sentido, la vitamina C es el antioxidante hidrosoluble más importante entre aquellos presentes en las células que contribuyen a la defensa antioxidante contra el estrés oxidativo. Este hecho está relacionado con su habilidad para atrapar radicales superóxido e hidroxilo así como para regenerar el α -tocoferol

TABLA II
CONSTITUYENTES BIOACTIVOS PRESENTES EN FRUTOS TROPICALES Y SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE TOTAL (CAT)

Fruto	Vitaminas ¹ (mg/100)		β -caroteno ¹ ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	Fenoles totales ² (mg EAG/g)	ORAC _{FL} ² ($\mu\text{mol ET/g}$)		CAT ² ($\mu\text{mol ET/g}$)
	C	E			L-ORAC	H-ORAC	
Plátano	8,7	0,10	26	2,31	0,66	8,13	8,79
Mango	27,7	1,12	445	2,66	0,14	9,88	10,02
Piña	16,9	nd ⁴	31	1,74	0,29	7,64	7,93
Papaya	61,8	0,73	374	nd	nd	4,5 ³	4,5

¹ USDA (1999), ² Wu *et al.* (2004), ³ Rivera-López *et al.* (2005), ⁴ Dato no disponible.

(Davey *et al.*, 2000). La vitamina C, que incluye ácido ascórbico y su producto de oxidación, el ácido dehidroascórbico, desempeña múltiples funciones fisiológicas en el organismo. Block *et al.* (2004) encontraron que la vitamina C reduce los niveles de proteína C-reactiva (CRP), un marcador de inflamación y posiblemente un predictor de enfermedades cardiovasculares.

La actividad biológica de la vitamina E, que pertenece al grupo de los antioxidantes liposolubles, se presenta en forma de tocoferoles y tocotrienoles. La forma de α -tocoferol es la estructura que predomina en los alimentos de origen vegetal. El contenido de vitamina E en frutas es bastante bajo. Aguacate, mango, kiwi y papaya destacan como principales fuentes de vitamina E (Cano *et al.*, 2005). La reacción predominante para que el α -tocoferol tenga actividad antioxidante es la donación de un átomo de hidrógeno, donde se forma un radical tocoferoxilo (Lampi *et al.*, 2002). La vitamina E previene y controla reacciones de oxidación en los tejidos (lípidos, proteínas, ADN, etc.) protegiendo al organismo de enfermedades degenerativas (Bramley *et al.*, 2000), particularmente en aquellas de tipo cardiovascular, debido a la inhibición de la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad (*low density lipoprotein*; LDL; Stampfer y Rimm, 1995).

Los carotenoides son otro grupo de compuestos que están siendo estudiados por su capacidad antioxidante. Desde el punto de vista nutricional, el interés por los carotenoides es debido a la actividad provitamínica-A de algunos de ellos (β -caroteno, α -caroteno y β -criptoxantina). Estos carotenoides con actividad provitamínica-A han sido considerados como compuestos bioactivos ya que junto con otros carotenoides como licopeno, luteína y zeaxantina presentan actividad antioxidante, entre otras actividades biológicas. Su estructura de dobles enlaces conjugados es la responsable de que puedan actuar como neutralizadores de radicales libres y de otras especies reactivas de oxígeno (Olmedilla *et al.*, 2001). Bajos niveles de caroteno en suero se han asociado a altas incidencias de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Rice-Evans *et al.*, 1997).

Se ha destacado el importante papel fisiológico que juegan los fenoles presentes en frutas y vegetales. Estos compuestos son clasificados dependiendo de su estructura y subclasificados dentro de cada clase, dependiendo del número y posición de grupos hidroxilo y la presencia de otros constituyentes. El grupo más amplio de polifenoles son los flavonoides; además, otros compuestos como los ácidos fenólicos y sus derivados también han sido identificados en frutas y hortalizas (Robards *et al.*, 1999; Aherne y O'Brien,

2002). Los compuestos fenólicos y especialmente los flavonoides poseen diferentes actividades biológicas, siendo su capacidad antioxidante la más importante (Prior *et al.*, 1998). Son considerados potentes inhibidores de la oxidación de las LDL, por lo que pueden reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Fuhrman *et al.*, 1995; Chang *et al.*, 2000) y además tienen una estabilidad mayor que la del ácido ascórbico (Miller y Rice-Evans, 1997).

Los fenoles tienen la capacidad de atrapar especies reactivas de oxígeno debido a su propiedad como donadores de electrones. La efectividad de su capacidad antioxidante va a depender de su estabilidad en los diferentes sistemas, así como también del número y localización de grupos hidroxilo. En muchos estudios *in vitro* los compuestos fenólicos han demostrado alta actividad antioxidante, incluso mayor que la presentada por vitaminas y carotenoides (Re *et al.*, 1999; Vinson *et al.*, 1995). Los flavonoides se encuentran entre los antioxidantes vegetales más potentes, siendo la quercetina el flavonol que combina las características estructurales que confieren poder antioxidante (Bravo, 1998).

Hay evidencias epidemiológicas de que los flavonoides de la dieta protegen contra enfermedades del corazón. Por ejemplo, se reconoce el potencial aterogénico de las LDL dado por la oxidación que sufre en las paredes internas de las arterias cuando se encuentran en elevadas concentraciones en circulación, por tanto aquellos antioxidantes que se encuentran enlazados a las LDL pueden ser benéficos. Los antioxidantes fenólicos encontrados en alimentos y bebidas son capaces de enlazarse a las LDL y actuar como antioxidantes endógenos análogos a vitamina E. Por consiguiente, si estos pueden ser absorbidos e incorporados a la circulación pudieran contribuir al poder antioxidante, inhibiendo o regulando la oxidación de las LDL, retrasando de este modo el proceso aterosclerótico (Vinson *et al.*, 1995).

Estudios específicos de constituyentes antioxidantes en sistemas de cultivos celulares y modelos animales proporcionan información valiosa sobre los mecanismos por los cuales una dieta alta en frutas y hortalizas puede disminuir los riesgos de enfermedades crónicas en humanos (Lampe, 1999). Los métodos utilizados para determinar actividad antioxidante en sistemas biológicos y en alimentos involucran desde ensayos químicos con sustratos lipídicos hasta ensayos más complejos para medir la capacidad antioxidante total en fluidos y muestras biológicas. Por consiguiente, la determinación del status antioxidante en sistemas biológicos puede contribuir a la prevención y evaluación de

enfermedades crónico-degenerativas (Sánchez-Moreno, 2002).

La actividad antioxidante *in vivo* de fitocomponentes de frutos enteros como el pérsimo (Gorinstein *et al.*, 1998), pera y manzana (Leontowicz *et al.*, 2003), naranja (Gorinstein *et al.*, 2004) y toronja (Gorinstein *et al.*, 2005) ha sido evaluada en función de la influencia sobre el metabolismo de lípidos en plasma de ratas alimentadas con dietas altas en colesterol. Los resultados coinciden en que existe una correlación significativa entre componentes antioxidantes, particularmente compuestos fenólicos, y actividad antioxidante, así como también un efecto hipocolesterolemico potenciado por la fracción soluble en agua de la fibra dietética.

Sería de gran utilidad llevar a cabo estudios como los mencionados en frutos tropicales, tanto intactos como mínimamente procesados. Es importante conocer si, además del atractivo color y buen sabor, estos frutos poseen alta bioactividad y alto potencial antioxidante, y si este potencial tiene influencia positiva sobre los niveles de lípidos en plasma. Si llegara a demostrarse que estos frutos mantienen altas cantidades de componentes bioactivos después del procesamiento mínimo, entonces su inclusión en dietas para prevenir enfermedades crónico-degenerativas estaría plenamente justificada.

Conclusiones

La alta prevalencia de enfermedades cardiovasculares a nivel mundial y el impacto que las frutas y hortalizas tienen como agentes terapéuticos en el control de estas enfermedades han motivado a los consumidores a exigir productos saludables, listos para consumo, libres de aditivos, seguros microbiológicamente y, además, con alto potencial antioxidante. La tarea no es solo para los industriales, sino para un grupo interdisciplinario conformado por nutriólogos, médicos, tecnólogos en alimentos y expertos en mercadeo.

El consumo de frutos tropicales mínimamente procesados es importante desde el punto de vista económico, como una nueva alternativa de comercialización para cubrir un mercado específico. Para que los frutos tropicales ingresen al mercado de los FFC es necesario asegurar que su calidad visual no sea alterada por el proceso de pelado y cortado, pero además debe asegurarse su calidad nutricional y potencial antioxidante. Con las nuevas tecnologías desarrolladas para el procesamiento de FFC es posible extender la vida útil de frutos tropicales frescos cortados sin cambios significativos en su calidad sensorial. Sin embargo, se requiere de más estudios en relación a la magnitud de las

pérdidas de nutrientes y compuestos con capacidad antioxidante. Son escasos los reportes de investigación publicados en relación a la bioactividad y potencial antioxidante en frutos tropicales cortados posterior a un periodo de almacenamiento. Asimismo, no se tiene conocimiento sobre la influencia que este potencial antioxidante pueda tener sobre el perfil de lípidos y actividad antioxidante *in vivo*, lo que pudiera ser objeto de futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- Aherne SA, O'Brien NM (2002) Dietary flavonols: Chemistry, food content and metabolism. *Nutrition* 18: 75-81.
- Ahvenainen R (1996) New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.* 7: 179-187.
- Ahvenainen R (2000) *Ready-to-use fruit and vegetables*. Technical Manual F-FE 376A/00. Flair-Flow Europe. 10 pp.
- Arnao MB, Cano A, Acosta M (1999) Methods to measure the antioxidant activity in plant material. A comparative discussion. *Free Radical Res.* 31: 589-596.
- Block G, Jensen C, Dietrich M, Norkus EP, Hudes M, Packer L (2004) Plasma C-reactive protein concentrations in active and passive smokers: Influence of antioxidant supplementation. *J. Am. Coll. Nutr.* 23: 141-147.
- Bramley M, Elmadafa I, Kafatos A, Kelly FJ, Manios Y, Roxoborough HE, Schuch W, Sheehy PJA, Wagner KH (2000) Vitamin E. *J. Sci. Food Agric.* 80: 913-938.
- Bravo L (1998) Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutr. Rev.* 56: 317-326.
- Cano MP, Sánchez-Moreno C, De Pascual-Teresa S, De Ancos B (2005) Procesado mínimo y valor nutricional. En González-Aguilar GA, Gardea AA, Cuamea-Navarro F (Eds.) *Nuevas Tecnologías de Conservación de Productos Vegetales Frescos Cortados*. Logiprint Digital. Guadalajara, México. pp. 289-312.
- Cao G, Sofic E, Prior RL (1996) Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 44: 3426-3431.
- Chang S, Tan Ch, Edwin N, Frankel EN, Barrett DM (2000) Low-density lipoprotein antioxidant activity of phenolic compounds and polyphenol oxidase activity in selected clingstone peach cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 48: 147-151.
- Chantanawarangoon S (2000) *Quality maintenance of fresh-cut mango slices*. Tesis. University of California, Davis. EEUU. 79 pp.
- Cooperhouse HL (2003) Innovations in Fruit Technology. *Fresh Cut Magazine*. February issue.
- Davey MW, van Montagu M, Inze D, Sanmartin M, Kanellis A, Smirnoff N (2000) Plant L-ascorbic acid: Chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agric.* 80: 825-860.
- De Ancos B, Muñoz M, Gómez R, Sánchez-Moreno C, Cano MP (2006) Nuevos sistemas emergentes de higienización en el procesado mínimo de alimentos vegetales. *I Simp. Iberoamer. de Vegetales Frescos Cortados - IV Cong. Nac. Sobre Procesamiento Mínimo de Frutas e Hortalizas*. San Pedro, SP, Brasil. pp. 1-14.
- Eberhardt MV, Lee CY, Liu RH (2000) Antioxidant activity of fresh apples. *Nature* 405: 903-904.
- Fuhrman B, Lavy A, Aviram M (1995) Consumption of red wine with meals reduces the susceptibility of human plasma and LDL to lipid peroxidation. *Am. J. Clin. Nutr.* 61: 549-554.
- Gil MI, Tomás-Barberán FA, Hess-Pierce B, Kader AA (2002) Antioxidant capacities, phenolics compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4976-4982.
- Gil MI, Aguayo E, Kader AA (2006) Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *J. Agric. Food Chem.* 54: 4284-4296.
- González-Aguilar GA, Wang CY, Buta JG (2000) Maintaining quality of fresh-cut mangoes using antibrowning agents and modified atmospheres packaging. *J. Agric. Food Chem.* 48: 4204-4208.
- González-Aguilar GA, Ruiz-Cruz S, Soto-Valdéz H, Vázquez-Ortiz F, Pacheco-Aguilar R, Wang CY (2005) Biochemical changes of fresh-cut pineapple slices treated with antibrowning agents. *Int. J. Food Sci. Technol.* 40: 377-383.
- González-Aguilar GA, Villegas M, Cuamea-Navarro F, Ayala-Zavala F (2006) Efecto de la Irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. *I Simp. Iberoamer. de Vegetales Frescos Cortados - IV Cong. Nac. Sobre Procesamiento Mínimo de Frutas e Hortalizas*. San Pedro, SP, Brasil. pp. 59-64.
- Gorinstein S, Bartnikowska E, Kuiuasek G, Zenser M, Trakhtenberg S (1998) Dietary persimmon improves lipid metabolism in rats fed diets containing cholesterol. *J. Nutr.* 128: 2023-2027.
- Gorinstein S, Leontowicz H, Leontowicz M, Krzeminski R, Gralak M, Martín-Belloso O, Delgado LE, Haruenkit R, Katrich E, Park YS, Jung ST, Trakhtenberg S (2004) Fresh Israeli Jaffa blond (Shamouti) orange and Israeli Jaffa red star ruby (Sunrise) grapefruits juices affect plasma lipid metabolism and antioxidant capacity in rats fed added cholesterol. *J. Agric. Food Chem.* 52: 4853-4859.
- Gorinstein S, Leontowicz H, Leontowicz M, Drzewiecki J, Jastrzebski Z, Tapia MS, Katrich E, Trakhtenberg S (2005) Red star ruby (sunrise) and blond qualities of Jaffa grapefruits and their influence on plasma lipid levels and plasma antioxidant activity in rats fed with cholesterol-containing and cholesterol-free diets. *Life Sci.* 77: 2384-2397.
- Gorni JR (2001) *A summary of CA and MA requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables*. Postharvest Horticultural Series No 22^a. Universidad de California, Davis, EEUU, GA, pp. 95-145.
- Gossiau A, Chen KY (2004) Nutraceutical, apoptosis and disease prevention. *Nutrition* 20: 95-102.
- Gundgaard J, Nielsen JN, Olsen J, Sorensen J (2003) Increased intake of fruit and vegetables. Estimation of impact in terms of life expectancy and healthcare costs. *Public Health Nutr.* 6: 25-30.
- Hashimoto K, Kawamata S, Usui N, Tanaka A, Uda Y (2002) *In vitro* induction of the antitumor marker enzyme, quinone reductase, in human hepatoma cells by food extracts. *Cancer Lett.* 180: 1-5.
- Hodge K (2003) Market trends bode well for fresh cut. *Fresh Cut Magazine*. October issue. pp. 30-31.
- Huang D, Ou B, Hampsch-Woodill M, Flanagan JA, Dedemer EK (2002) Development and validation of oxygen radical absorbance capacity assay for lipophilic antioxidants using randomly methylated-cyclodextrin as the solubility enhancer. *J. Agric. Food Chem.* 50: 1815-1821.
- Huang D, Ou B, Prior RL (2005) The Chemistry behind antioxidant capacity assays. *J. Agric. Food Chem.* 53: 1841-1856.
- IFPA (2002) International Fresh-cut Produce Association. www.fresh-cuts.org
- Lampe JW (1999) Health effects of vegetables and fruit: assessing mechanisms of action in human experimental studies. *Am. J. Clin. Nutr.* 70: 475s-490s.
- Lampi AM, Kamal-Eldin A, Piironen V (2002) Tocopherols and tocotrienols from oil and cereal grain. En Shi J, Mazza G, LeMaguer M (Eds.) *Functional food-Biochemical and Processing Aspects*. CRC. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 1-21.
- Lee SK, Kader AA (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharv. Biol. Technol.* 20: 207-220.
- Leontowicz M, Gorinstein S, Leontowicz H, Krzeminski R, Lojek A, Katrich E, Ciz M, Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R, Haruenkit R, Trakhtenberg S (2003) Apple and pear peel and pulp and their influence on plasma lipids and antioxidant potentials in rats fed cholesterol-containing diets. *J. Agric. Food Chem.* 51: 5780-5785.
- Martínez-Ferrer M, Harper C, Pérez-Muñoz F, Chaparro M (2002) Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. *J. Food Sci.* 67: 3365-3371.
- Miller NJ, Rice-Evans C (1997) The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple juices and black currant drink. *Food Chem.* 60: 331-337.
- Núñez MCN, Brecht JK, Morais AM, Sargent SA (1998) Controlling temperature and water loss to maintain ascorbic acid levels in strawberries during postharvest handling. *J. Food Sci.* 63: 1033-1036.
- Olmedilla B, Granado F, Blanco I (2001) *Carotenoides y salud humana*. Serie Informes. No. 11. Fundación Española de Nutrición. Madrid, España. pp. 13-15.
- Pellegrini N, Re R, Yang M, Rice-Evans C (1999) Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2,2'-Azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid radical cation) decolorization assay. *Meth. Enzimol.* 299: 379-389.
- Plotto A, Goodner KL, Baldwin EA (2004) Effect of polysaccharide coating on quality of fresh cut mangoes (*Mangifera indica*). *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 117: 382-388.
- Podsedek A (2007) Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT* 40: 1-11.
- Prior RL, Cao G (2000) Antioxidant Phytochemicals in fruits and vegetables: diet and health implications. *Hortscience* 35: 588-592.

- Prior RL, Cao G, Martin A, Sofic E, McEwen J, O'Brien Ch, Lischner N, Ehlenfeldt M, Kalt W, Krewer G, Mainland CM (1998) Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *J. Agric. Food Chem.* 46: 2686-2693.
- Prior RL, Wu X, Schaich K (2005) Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4290-4302.
- Rattanapanone N, Lee Y, Wu T, Watada AE (2001) Quality and microbial changes of fresh-cut mango cubes held in controlled atmosphere. *Hortscience* 36: 1091-1095.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biol. Med.* 26: 1231-1237.
- Rice-Evans C, Sampson J, Bramley PM, Holloway DE (1997) Why do we expect carotenoids to be antioxidant in vivo. *Free Radical Res.* 26: 381-398.
- Rivera-López J, Vázquez-Ortiz F, Ayala-Zavala F, Sotelo-Mundo R, González-Aguilar G (2005) Cutting shape and storage temperature affect overall quality of fresh-cut papaya cv. "Maradol". *J. Food Sci.* 70: s482-s489.
- Robards K, Prenzler PD, Tucker G, Swatsitang P, Glover W (1999) Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chem.* 66: 401-436.
- Ruiz-Cruz S (2005) *Efecto del lavado con diferentes sanitizantes en los cambios fisiológicos, bioquímicos y microbiológicos en zanahoria fresca cortada*. Tesis. CIAD. Hermosillo, México. 125 pp.
- Salveit ME (1997) Physical and physiological changes in minimally processed fruits and vegetables. En Tomás-Barberán FA, Robin RD (Eds.) *Phytochemistry of Fruits and Vegetables*. Oxford University Press. Oxford, RU. pp 205-220.
- Sánchez-Moreno C (2002) Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food Sci. Tech. Int.* 8: 121-137.
- Shi H, Noguchi N, Niky E (2001) Natural antioxidants. En Pokorny J, Yanishlieva N, Gordon M (Eds.) *Antioxidants in food practical application*. CRC. Cambridge, RU. pp. 147-148.
- Soliva-Fortuny RC, Martín-Belloso O (2003) New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 14: 341-353.
- Stampfer MJ, Rimm EB (1995) Epidemiologic evidence for vitamin E in prevention of cardiovascular disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 62: 1365-1369.
- Temple NJ (2000) Antioxidant and disease: More questions than answers. *Nutr. Res.* 20: 449-459.
- Thompson JE, Legge RL, Barber RF (1987) The role of free radicals in senescence and wounding. *New Phytol.* 105: 317-344.
- USDA (1999) *Nutrient Database for Standard References*. Release 13. Fruits and Fruit Juices; Food Group 09. www.nal.usda.gov/fnic/cgi-bin/list_nut.pl
- Vinson JA, Jang J, Dabbagh YA, Serry MM, Cai S (1995) Plant polyphenols exhibit lipoprotein bound antioxidant activity using an *in vitro* oxidation model for heart disease. *J. Agric. Food Chem.* 43: 2798-2799.
- Wang H, Cao G, Prior RL (1996) Total antioxidant capacity of fruits. *J. Agric. Food Chem.* 44: 701-705.
- Watada AE, Abe K, Yamauchi N (1990) Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. *Food Technol.* 44: 116, 118, 120-122.
- Wu X, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Prior RL (2004) Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J. Agric. Food Chem.* 52: 4026-4037.
- Yahia E (1998) Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Horticult. Rev.* 22: 123-183.

MINIMAL PROCESSING OF TROPICAL FRUITS: ANTIOXIDANT POTENTIAL AND ITS IMPACT ON HUMAN HEALTH

Maribel Robles-Sánchez, Shela Gorinstein, Olga Martín-Belloso, Humberto Astiazarán-García, Gustavo González-Aguilar and Reynaldo Cruz-Valenzuela

SUMMARY

The development of non-thermal and effective technologies or its combination can allow offering consumers fresh-cut tropical fruit, microbiologically safe and with a nutritional value and sensorial quality, similar to that of the intact product. Tropical fruits like mango, papaya, pineapple and banana stored at low temperature in controlled and/or modified atmosphere can preserve its commercial quality for up to 10 days in the case of mangoes and by 8 and 7 days for pineapple and papaya, respectively. Very few studies exist concerning the effects of minimal processing on their nutritional properties and antioxidant potential, the latter being related to bioactive compounds such as vitamin C and E, carotenoids and phe-

nolics, which have been strongly associated with the prevention of certain chronic-degenerative diseases. These bioactive compounds are present in significant amounts in tropical fruits and to date its antioxidant activity has been measured as oxygen radical absorbance capacity (ORAC) in whole fruits, reporting values from 7 to 11 µm ET/g. However, changes of these bioactive compounds taking place upon processing and storage have not been reported. Several aspects related to the effect of minimal processing of tropical fruits on their antioxidant components are reviewed and discussed. In addition the importance of measuring total antioxidant activity and its biological action *in vivo* is emphasized.

FRUTOS TROPICAIS PROCESSADOS MINIMAMENTE: POTENCIAL ANTIOXIDANTE E SEU IMPACTO NA SAÚDE

Maribel Robles-Sánchez, Shela Gorinstein, Olga Martín-Belloso, Humberto Astiazarán-García, Gustavo González-Aguilar e Reynaldo Cruz-Valenzuela

RESUMO

O desenvolvimento de tecnologias suaves não-térmicas e efêti-vas, ou sua combinação, pode permitir oferecer ao consumidor frutos tropicais frescos cortados, microbiologicamente seguros, com valor nutricional e qualidade sensorial bem próximos ao produto intacto. Frutos tropicais tais como manga, papaia e abacaxi armazenados a baixas temperaturas em combinação com atmosferas controladas e/ou modificadas conservam sua qualidade comercial até por 10 dias para o caso de manga e por 8 e 7 dias para papaia e abacaxi, respectivamente. Nestes frutos têm sido muito poucos os estudos em relação aos efeitos do processamento mínimo sobre sua composição nutricional e potencial antioxidante, este último atribuído a componentes bioativos tais como vitamina C e E, carotenóides e polifenóis, os quais tem

sido fortemente associados à prevenção de certas enfermidades crônico-degenerativas. Estes componentes bioativos se encontram em quantidades significativas nos frutos tropicais e até o momento somente tem sido avaliada sua atividade antioxidante medida como sua capacidade de absorção de radical oxigênio (ORAC) nos frutos inteiros, relatando-se valores entre 7 e 11 µmol ET/g. Se desconhece em grande medida como se afetam estes valores uma vez que os frutos tem sido processados e armazenados. Neste trabalho se revisam alguns aspectos relacionados com o processamento mínimo de frutas tropicais e o efeito que este tem sobre seus constituintes antioxidantes, além disso, se ressalta a importância da avaliação da atividade antioxidante total em frutos frescos cortados e sua ação biológica *in vivo*.