Vector 5 (2010) 17 - 26
ISSN 1909 - 7891

REVISIÓN

Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina

Ivonne Cerón S.[a], Juan C. Higuita V.[b], Carlos Cardona A.[c]*

[a] *Ingeniera Química, M.Sc. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Colombia*
[b] *Microbiólogo, Ph.D. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Colombia*
[c] *Ingeniero Químico, M.Sc., Ph.D. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Colombia*

Recibido: 15 de junio de 2011. Aprobado 21 de noviembre de 2011

Resumen

Algunas investigaciones sobre la importancia medicinal de las frutas de la región andina, se deben a la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos presentes. Los antioxidantes reducen el estrés oxidativo en las células y son ampliamente usados para tratar diferentes enfermedades que atacan a la salud humana. Este trabajo es una revisión del potencial antioxidante del lulo, la uchuva y el tomate de árbol, ampliamente cultivados en los Andes, y los métodos de extracción de los mismos. Los antioxidantes naturales presentes en las frutas son una importante fuente de compuestos con propiedades fitoquímicas que representan una potencial alternativa para remplazar los antioxidantes sintéticos y ser usados en la industria farmacéutica y de alimentos.

Palabras clave: Antioxidantes, compuestos fenólicos, extracción con solventes, extracción supercrítica, lulo, tomate de árbol, uchuva.

REVIEW

Antioxidant capacity and total phenolic content of three fruits from Andean region

Abstract

The interest of many researches on the medicinal uses of fruits from Andean Region is due the known antioxidant potential of their polyphenolic, carothenoids and flavonoids compounds. Antioxidants reduce the oxidative stress in cells and additionally these are useful in the treatment of many human diseases. This paper reviews the antioxidant potential of naranjilla, goldenberry and tamarillo, which are widely grow in Andean Region. Moreover, different methods for antioxidant compound extraction are described. Many works related to natural antioxidant uses conclude that these fruits are important source of compounds with phitochemical properties. These fruits represent a potentially alternative for replacing to synthetic antioxidants in the food processing industry and for use in preventive medicine.

Key words: Antioxidants, phenolic compounds, solvent extraction, supercritical extraction, tamarillo, goldenberry, naranjilla,

1. **Introducción**

La región de los Andes se caracteriza por tener una alta biodiversidad que resulta de la variedad de ecosistemas dada su ubicación geográfica. La uchuva, el tomate de árbol y el lulo son frutas originarias de la región interandina, específicamente en Colombia, Ecuador y Perú. Sin embargo, estos cultivos se encuentran en proceso de tecnificación. En 2008, solo en Colombia se produjeron 107.106, 46.457 y 15.463 toneladas de tomate de árbol, lulo y uchuva, respectivamente. Mientras que en Ecuador en 2009 se produjeron 14.031 y 15.969 toneladas de tomate de árbol y lulo y en Perú se produjeron en 2008, 700 toneladas de uchuva (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2009; CEPES, 2010). Diferentes estudios, han confirmado los beneficios para la salud que aporta la ingesta de frutas y verduras ricas en antioxidantes, principalmente en la reducción de enfermedades cardiovasculares (Sadani y Nadkarni, 1996; Franzini *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2011), como la diabetes (McCune y Johns, 2002; Ramful *et al.*, 2010), hipercolesterolemia (Mateos *et al.*, 2005), resistencia a la insulina (Egan *et al.*, 2001). Además, ayudan a prevenir enfermedades como el cáncer (Collins, 2005; Rossi *et al.*, 2008; Ezzedine *et al.*, 2010), artritis, arterosclerosis (Jaswal *et al.*, 2003), disfunción cerebral, y disminuyen los procesos de aceleración del envejecimiento (Bonetto *et al.*, 2009; Salmon *et al.*, 2010).

Estos beneficios han estimulado las investigaciones sobre la capacidad antioxidante de frutas y verduras. Orientándolas principalmente a la caracterización de diferentes tipos de frutas y su contenido de componentes antioxidantes específicos, con el fin de incrementar el valor nutricional general de las mismas (Scalzo *et al.*, 2005). Las frutas y vegetales contienen nutrientes que junto con las vitaminas C, E y carotenoides potencializan la actividad antioxidante. Sustancias fenólicas como los flavonoides son los componentes más comunes en frutas y vegetales que tienen una fuerte capacidad antioxidante (Contreras-Calderón *et al.*, 2010). Estos compuestos pueden

* Autor de correspondencia.
E-mail: ccardonaal@unal.edu.co (C.A. Cardona)

prevenir o reducir el daño oxidativo de los lípidos, proteínas y ácidos nucleicos por especies reactivas de oxígeno (ROS), debido a sus propiedades como captadores de radicales libres (Martínez, 2005; Ikram *et al.*, 2009).

Entre diferentes frutas, genotipos y cultivos, existe una marcada diferencia en cantidades y tipos de antioxidantes fenólicos y sus conjugados. Los métodos para establecer la capacidad antioxidante total difieren en la vía de generación de radicales libres, la forma de medida, el punto final de inhibición de la reacción y la sensibilidad de reducción de las moléculas en la muestra (Roginsky y Lissi, 2005). Entre los métodos más usados para medir capacidad antioxidante se encuentran el FRAP (Ferric Reducing Activity Power), el método ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) y los métodos ABTS y DPPH basados en la captación de los radicales libres 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico ácido) y 2,2-difenil-1-picrilhidrazil, respectivamente.

En el método FRAP, se basa en la capacidad de los polifenoles de reducir moléculas de Fe III a Fe II, el cual forma un complejo azul con tripidil triazina (TPTZ) que puede ser monitoreado por absorbancia a 593 nm.

En el método ORAC se basa en el descenso en la emisión de fluorescencia de la proteína ficoeritrina producido por el generador de radicales peroxilos, AAPH (2,2'-azobis (2-amidinopropano) dihidrocloruro). La inhibición de esta generación por un compuesto antioxidante es una medida de su actividad antioxidante (Krishnaiah *et al.*, 2010).

El método ABTS monitorea la desaparición del catión $ABTS^{\bullet+}$ (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico ácido) generado previamente por la oxidación del ABTS, por el descenso de absorbancia, debido a la presencia de compuestos capaces de interactuar con el radical. Este ensayo mide la capacidad antioxidante total, tanto de sustancias lipofílicas como hidrófilas. Como control positivo se utiliza Trolox, un análogo hidrosoluble a la vitamina E (Krishnaiah *et al.*, 2010).

El test DPPH es un método indirecto y está basado en la capacidad de estabilizar los radicales libres 2,2-difenil-1-picril hidrazilo al reaccionar con sustancias donadoras de H^+. Mediante el test DPPH solo se puede medir la actividad de compuestos de naturaleza lipofílica. Este método presenta una excelente estabilidad a ciertas condiciones por presentar un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa (McCune y Johns, 2002); Krishnaiah *et al.*, 2010). Las actividades antioxidantes se pueden expresar como IC50; es decir, la concentración inhibitoria del 50% del reactivo inicial (DPPH, β-caroteno o radical superóxido).

La aplicación de un método u otro depende del disolvente empleado para la extracción y la presencia de compuestos (no antioxidantes) que puedan interferir en la medición, como aminoácidos y ácidos urónicos presentes en muestras vegetales, que interfieren principalmente en el método ORAC (Pérez-Jiménez y Saura-Calixto, 2007).

En este estudio, se realiza una recopilación de investigaciones sobre la capacidad antioxidante total y contenido fenólico de tres frutas andinas, con el fin de determinar si pueden ser explotados como fuente natural de antioxidantes. Finalmente, se presenta esquemáticamente el proceso de obtención de antioxidantes.

2. Frutas andinas con alta capacidad antioxidante

Varios autores reportan la capacidad antioxidante de diferentes especies frutales. En este trabajo, se presenta una revisión del potencial antioxidante del lulo, la uchuva y el tomate de árbol.

2.1. Lulo *(Solanum quitoense)*

Es una fruta nativa de los Andes, cultivada y consumida principalmente en Ecuador, Colombia y Centro América. Tiene un amplio mercado en la industria de alimentos, principalmente en la fabricación de jugos, néctares, pulpas y mermeladas. Además se caracteriza por su olor y sabor agridulce, su pH varía entre 3,1-3,3. El fruto tiene un porcentaje de fibra entre 0,3 y 1,54% (Guzmán *et al.*, 1977; Acosta *et al.*, 2009) y una humedad entre 90,6-92,5% (Guzmán *et al.*, 1977; Romero, 1991; Arango *et al.*, 1999; Acosta *et al.*, 2009). El fruto de lulo es una importante fuente de vitaminas y minerales que contribuyen a la salud (Acosta *et al.*, 2009), como algunos carotenoides precursores de la vitamina A (Vasco *et al.*, 2008), con un contenido de 33,3±0,6 μg/g en el fruto fresco entero y 7,2±0,3 μg/g en la pulpa fresca (Acosta *et al.*, 2009). Entre el grupo de los carotenoides mayoritarios encontrados en el lulo se encuentran el β-caroteno, la luteína y zeaxantina con un porcentaje de 58,4%, 32,2% y 3,2% respectivamente del total de carotenoides (Acosta *et al.*, 2009). A estos compuestos se les ha asociado beneficios para la salud, como en el tratamiento y prevención de enfermedades cardiovasculares, oftalmológicas y diversas formas de cáncer (Murillo *et al.*, 2010).

Acosta *et al.* (2009) determinaron el contenido fenólico y actividad antioxidante de la pulpa de lulo originaria de Costa Rica. Contreras-Calderón *et al.* (2010), determinaron la capacidad antioxidante para la pulpa y cáscara de lulo nativo de Colombia y Vasco

et al. (2008) para el lulo proveniente de Ecuador. En los trabajos mencionados anteriormente se encontró que el contenido fenólico es mayor en la pulpa de lulo originaria de Ecuador con un valor de 91±17 mg de ácido gálico equivalentes por cada 100 gramos de fruta fresca, seguido por Colombia y Costa Rica con 58,3±2,39 y 48±3, respectivamente.

2.2. Uchuva *(Physalis peruviana* L.*)*

Physalis peruviana, es conocida como uchuva en Colombia, uvilla en Ecuador, aguaymanto en Perú y topo-topo en Venezuela (Puente *et al.*, 2010). Esta planta, originaria de los Andes, se caracteriza por producir su fruto envuelto en un cáliz protector. La uchuva es una fruta semiácida, redonda, amarilla, dulce y pequeña (aproximadamente entre 1,25 y 2 cm de diámetro). Contiene alrededor de 100 a 200 pequeñas semillas (Tapia y Fries, 2007).

La uchuva es considerada una fruta exótica y es utilizada para preparar yogurt, postres, helados, bebidas, mermeladas y salsas. Es ampliamente conocida por sus propiedades fisicoquímicas, nutricionales y medicinales, las cuales son asociadas a la capacidad antioxidante de los polifenoles presentes; es excelente fuente de provitamina A, rica en vitamina C, E, K1 y complejo vitamínico B. Los principales componentes activos de la vitamina A en los frutos son el α-caroteno, β-caroteno y β-criptoxantina (Fischer *et al.*, 2000). Además, Fischer *et al.* (2000) reportaron la composición de carotenoides precursores de la vitamina A, ácidos orgánicos y ácido ascórbico de tres ecotipos de uchuva ("Colombia", "Kenya" y "Suráfrica") sembradas en Colombia a diferentes altitudes, encontrando que la producción de α-caroteno incrementa al decrecer la altitud.

La uchuva tiene propiedades medicinales para purificar la sangre, fortalecer el nervio óptico y es recomendada para personas diabéticas (Fischer *et al.*, 2000; Leterme *et al.*, 2006; Rodríguez y Rodríguez, 2007; Restrepo, 2008). Ramadan *et al.* (2008) atribuyen a la pulpa de uchuva efectos antiinflamatorios, antitumorales, antibacteriales, antifúngicos y efectos hipocolesterolémicos, principalmente por los fitoesteroles encontrados en el aceite de la semilla y de la pulpa (Ramadan y Mörsel, 2003). Los frutos contienen cerca del 2% de aceite, proveniente el 90% de la semilla y el 10% restante de la cáscara y la pulpa, y sus principales ácidos grasos son linoleico, oleico, palmítico, esteárico y γ-linoleico (Ramadan y Mörsel, 2003; Ramadan y Moersel, 2007). Repo-de-Carrasco *et al.* (2008) determinaron la actividad antioxidante de los frutos de uchuva originarios de Perú y Botero (2008) y Restrepo (2008) de los frutos nativos de Colombia.

2.3. Tomate de árbol *(Cyphomandra betacea)*

El tomate de árbol es una fruta nativa de la región Andina de Perú y Brasil, y ha sido introducida y cultivada en Nueva Zelanda desde 1930. El árbol puede crecer un poco más de 6 metros. Sus frutos en forma de huevo, pesan aproximadamente entre 60 a 170 g. Su pulpa se caracteriza por ser de sabor agridulce y la delgada cáscara por un fuerte sabor amargo. La parte comestible corresponde al 65-85% en peso, con un contenido de humedad 84-88% y 9,0-11,0 ºBrix. El tomate de árbol es consumido en jugos y postres (Eroski, 2005). Ha sido usado tradicionalmente para reducir los niveles de colesterol en la sangre y para tratar problemas respiratorios (Bermejo y León, 1992; Eroski, 2005). Algunos autores han reportado que la pulpa de tomate de árbol presenta propiedades para prevenir enfermedades neurodegenerativas y la aterosclerosis (Kou *et al.*, 2009), así como se ha detectado actividad antimicrobiana por acción de una proteína (Ordóñez *et al.*, 2006). Mertz *et al.* (2009) y Vasco *et al.* (2009) han reportado la actividad antioxidante y los principales compuestos fenólicos del tomate de árbol cultivado en Ecuador.

En la Tabla 1, se presenta la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles totales de los extractos de las frutas de lulo, uchuva y tomate de árbol. Así mismo, se presenta el solvente usado por diferentes autores para la obtención del extracto. 2.4. Métodos de extracción de antioxidantes

2.4. Extracción de antioxidantes

2.4.1. Extracción con solventes

Los antioxidantes son solubles en disolventes polares, generalmente mediante el uso de agua, metanol o etanol que contiene una pequeña cantidad de ácido clorhídrico o el ácido fórmico. La extracción con metanol es un 20% más eficaz que con etanol, y 73% más eficaz que solo agua. La acetona también ha sido utilizada para extraer antioxidantes de diferentes fuentes vegetales, lo que permite una extracción más eficiente y reproducible a bajas temperaturas, evitando problemas difusionales con las pectinas (García-Viguera *et al.*, 1998). La variable más importante en este tipo de extracción es la temperatura.

La temperatura óptima de extracción reportada por García-Viguera *et al.* (1998) y Mantell *et al.* (2002), se encuentra entre 50 y 75 °C (Mantell *et al.*, 2002; Vatai *et al.*, 2008). Otra variable a tener en cuenta es la relación solvente-extracto. Xu *et al.* (2010) sugirieron una relación sólido-líquido (S/L) de 1:10. Luque-Rodríguez *et al.* (2007) optimizaron las condiciones de extracción dinámica de antocianinas con líquido sobrecalentado.

Tabla 1
Capacidad antioxidante y contenido polifenólico de extractos de lulo, uchuva y tomate de árbol

Nombre común	Nombre científico	Solvente usado en la extracción	Capacidad antioxidante (µmol Trolox/g peso fresco)	Contenido de polifenoles totales (mg ácido gálico equivalente/100 g peso fresco)	País	Referencia
Lulo	*Solanum quitoense*	Acetona:agua (1:1)	Pulpa: Prueba ORAC: 17±1	Pulpa: 48±3	Costa Rica	Acosta *et al.* (2009)
		Metanol:agua (1:1)	Pulpa: Prueba DPPH: 3,2±0,9 Prueba FRAP: 10,45 Prueba ABTS: 14,02	Pulpa: 91±17	Ecuador	Vasco *et al.* (2008)
		Metanol:agua (1:1)	Cáscara: Prueba FRAP: 10,8±0,1 Prueba ABTS: 21,1±0,23 Pulpa: Prueba FRAP: 6,77±0,05 Prueba ABTS: 12,2±0,85	Cáscara: 83,6±0,64 Pulpa: 58,3±2,39	Colombia	Contreras-Calderón *et al.* (2010)
Uchuva	*Physalis peruviana*	Metanol	Pulpa: Prueba DPPH: 0,291±0,039 Prueba ABTS: 0,426±0,011	Pulpa: 154±3	Perú	Repo-de-Carrasco y Encina (2008)
		Metanol	Pulpa: Prueba DPPH: 0,211±0,0945 Prueba FRAP: 0,056±0,0138	Pulpa: 40,45±0,93	Colombia	Restrepo (2008)
		Metanol	Pulpa: Prueba DPPH: 0,193±0,03 Prueba FRAP: 0,055±0,071	Pulpa: 39,15±5,43	Colombia	Botero (2008)
Tomate de árbol	*Cyphomandra betacea*	Metanol:agua (1:1)	Prueba DPPH: Cáscara (var. amarilla) 22±4 (var. roja) 40±3 Pulpa (var. amarilla) 2,3±0,1 (var. roja) 3±0,4 Semillas (var. amarilla) 3,8±0,6 (var. roja) 9,3±0,4	Cáscara (var. amarilla) 387±8 (var. roja) 620±14 Pulpa (var. amarilla) 78±2 (var. roja) 113±4 Semillas (var. amarilla) 94±1 (var. roja) 152±1	Ecuador	Vasco *et al.* (2009)
		Acetona:agua (7:3)	Prueba ORAC: Pulpa (var. amarilla) 8,1±0,4 (var. roja) 14,8±0,5	Antiocianinas: (var. amarilla): no detectada (var. roja): 165,1 mg/100 g peso seco Carotenoides (β-caroteno): (var. amarilla): 14,57 µg/g peso fresco (var. roja): 18,75 µg/g peso fresco	Ecuador	Mertz *et al.* (2009)

Arapitsas *et al.* (2008) y Arapitsas y Turner (2008) proponen la extracción de antocianinas de col roja mediante una extracción presurizada con solventes. Corrales *et al.* (2009) estudiaron la extracción de compuestos fenólicos a alta presión hidrostática de antocianinas de las cáscaras de uva. Los estudios realizados por Luque-Rodríguez *et al.* (2007), Arapitsas *et al.* (2008), Arapitsas y Turner (2008) y Corrales *et al.* (2009) demuestran que al aumentar la presión de extracción, los rendimientos aumentan.

El proceso de extracción con solventes, tiene tres etapas principales. Inicialmente, el material vegetal debe ser reducido de tamaño con el fin de aumentar el área de contacto e incrementar la transferencia de

masa, posteriormente el material es secado para evitar problemas de inhibición en la extracción. La segunda etapa consiste en la extracción de los componentes con propiedades antioxidantes, la cual debe realizarse a una temperatura menor a 60 ºC para evitar la degradación por temperatura de los componentes. Finalmente, la última etapa consiste en la concentración del extracto. Para esto es necesario evaporar el solvente, por medio de destilación o evaporación y para eliminar las trazas de solventes se puede efectuar una ultrafiltración acompañada de una liofilización. En la Figura 1, se muestra un esquema convencional del proceso de extracción con solventes.

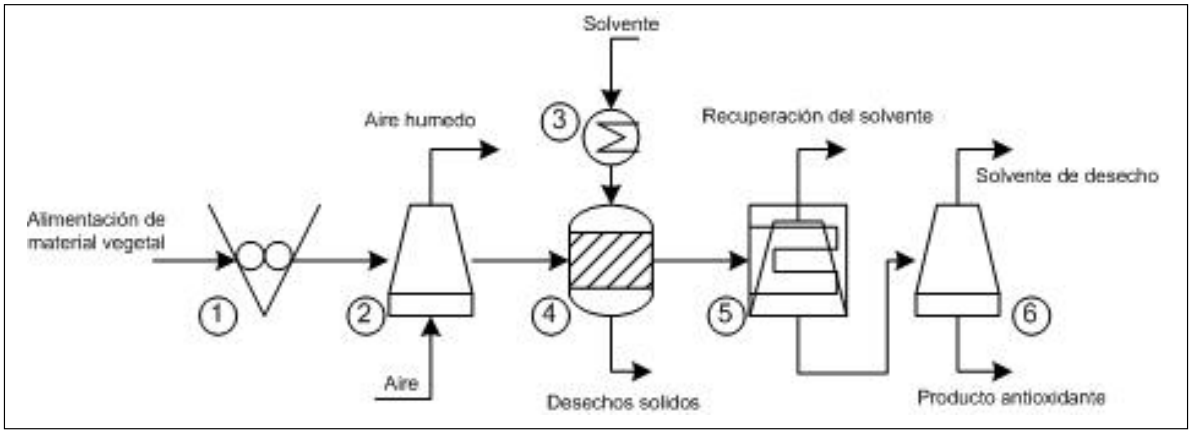

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de extracción con solventes.
1: Molino; 2: Secador; 3: Intercambiador de calor; 4: Extractor; 5: Evaporador; 6: Secador.

Cuando se realiza extracción con solventes, se requiere un fraccionamiento del extracto y eliminación del solvente, evitando la degradación del producto (compuestos termolábiles). Además, es inevitable la presencia de residuos del solvente en el producto final (Floris *et al.*, 2010).

2.4.2. Extracción supercrítica

Hasta el momento, existen pocos estudios acerca de la extracción de antioxidantes utilizando fluidos supercríticos (SCF), sin embargo Xu *et al.* (2010) proponen un estudio cinético para la extracción de antocianinas de la col roja por medio de CO_2 supercrítico a 10 MPa y 40-60 °C. García-Viguera *et al.* (1998) y García *et al.* (1999) reportan las condiciones para la extracción de grasas de la semilla de aguacate a 27,8 Mpa y 60 °C. Por otra parte, basado en los conceptos de extracción por el método de fluidos supercríticos presentado por Cardona *et al.* (2007), una variación en la presión de extracción influye sobre la densidad del CO_2 en el proceso extractivo, esto quiere decir que a temperatura constante se pueden obtener diferentes resultados de extracción y a su vez encontrar condiciones de operación para que el proceso extractivo sea más selectivo a un compuesto determinado.

Algunos autores (Murga *et al.* 2002; Vatai *et al.*, 2008) realizaron la extracción supercrítica de componentes antioxidantes de las semillas y cáscaras de la uva. Sin embargo, algunos componentes de interés son livianos y no solubles en CO_2 supercrítico a las condiciones supercríticas habituales (P < 500 bar) (Wu *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2009). No obstante, recientes investigaciones (Murga *et al.*, 2002; Wu *et al.*, 2009; Floris *et al.*, 2010) establecen que el uso de una mezcla de solventes orgánicos y CO_2 a condiciones supercríticas aumentan los rendimientos de extracción de polifenoles (Floris *et al.*, 2010).

El proceso de extracción de compuestos antioxidantes puede ser descrito en cuatro etapas: pretratamiento del material vegetal, pretratamiento de CO_2, extracción fenólica y recuperación del solvente. Tanto el proceso de extracción con solventes como con fluidos supercríticos, tienen la misma etapa de pretratamiento de materia prima. En la Figura 2, se muestra el esquema del proceso de extracción utilizando fluidos supercríticos. En la segunda etapa, el CO_2 debe adecuarse a las condiciones de temperatura y presión de operación. La tercera etapa consiste en un extractor de lecho empacado donde el material sólido entra en contacto con el fluido supercrítico a las condiciones de operación (< 400 bar, T < 60 ºC), garantizando que los componentes no se degraden por efecto de la temperatura y teniendo en cuenta el criterio termodinámico de solubilidad. La cuarta etapa consiste en un despresurizador donde el CO_2 cambia de fase, permitiendo la separación del producto-solvente y la

recuperación del solvente de extracción. En esta etapa la presión decrece a presión atmosférica donde el CO_2 se encuentra en fase gaseosa.

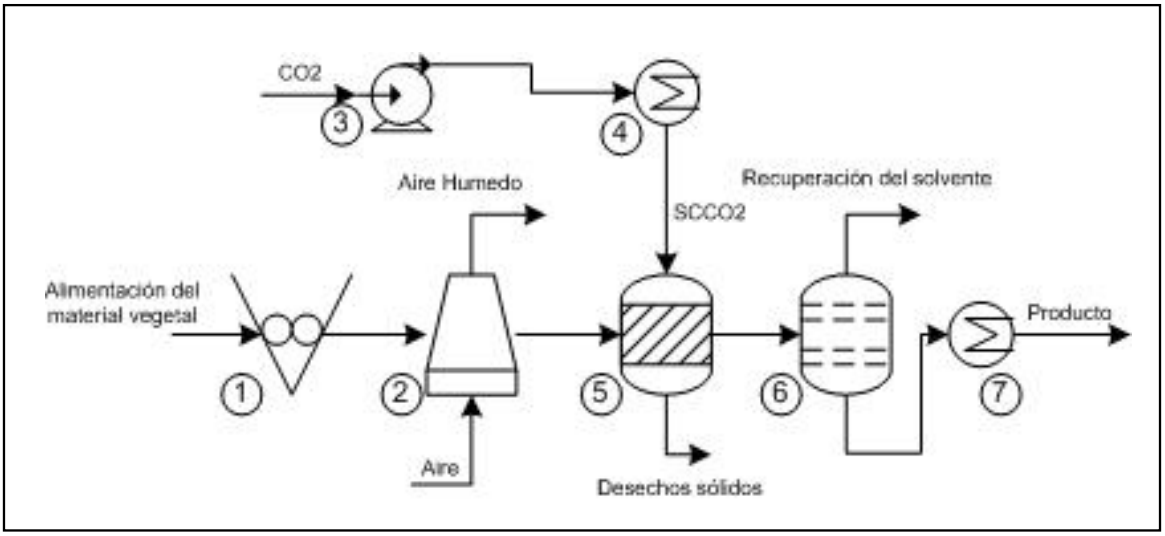

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de extracción con supercríticos.
1: Molino; 2: Secador; 3: Bomba/compresor; 4, 7: Intercambiador de calor; 5: Extractor supercrítico; 5: Extractor; 6: Despresurizador.

Wu *et al.* (2006) extrajeron antioxidantes de las hojas de uchuva por diferentes métodos, con el fin de comparar rendimientos de cada una de las extracciones, actividad antioxidante y compuestos fenólicos extraídos. En la Tabla 2, se presentan las condiciones de operación de cada una de las extracciones y se observan los rendimientos y compuestos fenólicos y flavonoides (Wu *et al.*, 2006).

Tabla 2
Flavonoides, contenido fenólico y rendimiento de extractos de las hojas de uchuva a diferentes condiciones de extracción, reportadas por Wu *et al.* (2006)

Método de extracción	**Peso de muestra (g)**	**Presión (ºatm)**	**Temperatura (ºC)**	**Tiempo**	**Rendimiento (%)**	**Flavonoides (mg/g)**	**Fenoles (mg/g)**	**IC50 (μg/ml)**
Agua caliente	100	1	60	1 hora	20,73±1,5	40,45±0,10	19,64±0,09	> 50
Etanol (95%)	100	1	25	6 días	24±2,0	84,24±0,60	88,81±0,01	17,61
SCF-CO_2	5	400	60	5-30 min	3,6±0,32	60,04±0,08	14,53±1,30	-
SCF-CO_2-Etanol (4%)	5	400	60	5-30 min	6,88±1,45	193,06±4,26	73,95±4,20	-
SCF-CO_2-Etanol (5%)	5	400	60	5-30 min	15,47±0,68	234,63±9,61	90,80±2,21	6,78

Los rendimientos están basados en peso seco final del extracto y el peso inicial de la muestra. Los compuestos fenólicos son mayores al realizar el método de extracción con fluidos supercríticos, principalmente al incrementar el porcentaje de etanol. Además, el tiempo de extracción disminuye significativamente en el proceso de extracción supercrítica lo cual influye en los costos totales finales del proceso. Esto significa, que los métodos de extracción con solventes (agua caliente y etanol) son más costosos, menos eficaces y selectivos, por lo tanto, estos puede arrastrar otros compuestos que no tienen actividad antioxidante como azúcares. De la misma manera, al comparar los valores de actividad antioxidante IC50 entre los procesos con

solvente y con fluidos supercríticos utilizando un 5% de etanol, se puede determinar que este último extracto tiene mayor capacidad antioxidante que el extracto obtenido por el proceso convencional debido a la baja polaridad del extracto. Mientras que el extracto con agua caliente tiene un valor de IC50 mayor, lo que significa que es un extracto más polar mostrando una debilidad para atrapar los radicales libres. En la literatura hay escasos estudios sobre la extracción de antioxidantes del lulo (*Solanum quitoense*) y el tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*), utilizando la tecnología de fluidos supercríticos, por tal razón no se presenta comparación sobre la capacidad antioxidante de extractos obtenidos por diferentes tecnologías. En la Tabla 1, puede observar la capacidad antioxidante de los extractos de estas frutas obtenidos por extracción con solventes.

2.5. Aprovechamiento industrial de antioxidantes naturales

En los últimos años, las industrias de alimentos, cosméticas y farmacéuticas, han tenido que enfrentarse a la tendencia de los consumidores a exigir en los productos ingredientes "no químicos", con el fin de favorecer y cuidar su salud. En estas industrias, los antioxidantes fenólicos tienen aplicación como sustituto de componentes sintéticos y como ingredientes activos, por ejemplo un aditivo para proteger la piel en dermatología.

Tabla 3
Propiedades fitoquímicas de las frutas de lulo, uchuva y tomate de árbol

Componentes	Propiedades	Referencia
Propiedades de los frutos de lulo (*Solanum quitoense*)		
Carotenoides: luteína y zeaxantina	Previene enfermedades cardio-vasculares y oftalmológicas	Murillo *et al.* (2010)
Actividad antioxidante y anti-inflamatoria	Actividad citotóxica	Acosta *et al.* (2009)
Propiedades de los frutos de uchuva (*Physalis Peruvian*)		
α-tocoferol, β-tocoferol, carote-noides, flavonoides, taninos	Mejora la secreción de insulina, reduce la glucosa en la sangre	Rodríguez y Rodríguez (2007)
Actividad antioxidante	Actividad hepatotóxica	Wu *et al.* (2004a), Arun y Asha (2007)
Withanólidos, flavonoides, fenoles	Actividad citotóxica contra el cáncer de pulmón, seno y riñón. Actividad antihepatoma.	Wu *et al.* (2004a), Lan *et al.* (2009), Wu *et al.* (2009), Wu *et al.* (2004b)
Flavonoides, fenoles	Actividad antioxidante e infla-matoria	Wu *et al.* (2006)
Propiedades de los frutos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*)		
Proteína invertasa	Actividad antimicrobiana	Ordóñez *et al.* (2006)
Lecitina (CBL3)	Aglutinante que no se inhibe por N-acetilglucosamina	Sampietro *et al.* (2001)
Delfinidina 3-rutinosido y b-criptoxantina (antocianina y carotenoide)	Previene la asteroclerosis y enfer-medades neurodegenerativas	Kou *et al.* (2009)

Los estudios realizados sobre fuentes naturales de antioxidantes (Murga *et al.*, 2002; Chau y Huang, 2004; Contreras-Calderón *et al.*, 2010), se han enfocado en evaluar el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante de los residuos agroindustriales, con la perspectiva de aumentar el valor agregado de los mismos. Sin embargo, se ha descuidado el procesamiento a escala piloto para su obtención, por lo que pocos productos derivados de antioxidantes han sido desarrollados satisfactoriamente a partir de estos residuos. Entre las fuentes de antioxidantes utilizadas actualmente en la industria, se encuentran principalmente los desechos de aceituna "torta de orujo", donde los compuestos antioxidantes mejoran la estabilidad del aceite de girasol (Abd-ElGhany *et al.*, 2010). Igualmente, los desechos de la industria vinícola

como fuente de antioxidantes para la conservación durante la congelación y el cocido de la carne (Selani *et al.*, 2011). Sin embargo, no se reportan estudios sobre el aprovechamiento industrial de los residuos de las frutas de lulo, uchuva y tomate de árbol, siendo estas una fuente importante de antioxidantes que pueden ser aprovechados en la industria para la obtención de aditivos funcionales y nutracéuticos, dadas sus propiedades fitoquímicas. En la Tabla 3, se muestran las propiedades de los antioxidantes presentes en las frutas de lulo, uchuva y tomate de árbol.

3. Conclusiones

En este trabajo se estudió la importancia medicinal y como alimento funcional de tres futras de la región andina: lulo, uchuva y tomate de árbol, las cuales tienen alta capacidad antioxidante. Estas especies presentan alto contenido fenólico que les confiere propiedades terapéuticas.

Después de analizar los diferentes métodos para la extracción de antioxidantes y compuestos fenólicos, se puede decir que la extracción con fluidos supercríticos combinada con un solvente orgánico muestra cierta ventaja sobre el método de extracción con solventes, debido a que la selectividad se puede manipular con pequeñas variaciones de la presión del sistema y además los tiempos de operación disminuyen de días a minutos.

La tecnología más utilizada para la obtención de antioxidantes es el proceso de extracción con solventes, a pesar de que el proceso de extracción con fluidos supercríticos presenta ventajas en cuanto a rendimiento, calidad y capacidad antioxidante del extracto. Sin embargo, los estudios acerca de la tecnología de extracción de antioxidantes usando fluidos supercríticos son pocos en la literatura. Razón por la cual están abiertas las investigaciones en este campo.

Otra desventaja del proceso de extracción con solventes es que se requiere una buena selección del solvente teniendo en cuenta criterios de toxicidad y facilidad de separación del extracto, para evitar degradación del producto debido a la temperatura y la presencia de altas trazas de solvente.

Los estudios concernientes a la extracción de antioxidantes deberían enfocarse principalmente en la eficiencia de recuperación y del proceso de extracción, la comercialización de los extractos resultantes, su aplicabilidad en productos alimenticios, cosméticos y farmacéuticos, evaluación *in vivo* y finalmente en los aspectos económicos relacionados con la producción a gran escala.

Referencias

Abd-ElGhany M.E., Ammar M.S., Hegazy A.E. (2010). Use of Olive Waste Cake Extract as a Natural Antioxidant for Improving the Stability of Heated Sunflower Oil. *World Applied Sciences Journal* 11(1): 106-113.

Acosta Ó., Pérez A.M., Vaillant F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense Lam.*) cultivated in Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Organo Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición* 59(1): 88-94.

Arango H., Vaillant F., Vélez V., Millan P. (1999). Evaluation of post-harvest performance of naranjilla (*Solanum quitoense Lam.*) fruits packed under modified atmosphere (MA). *Fruits,* 54(4): 261-270.

Arapitsas, P., Sjöberg P.J.R., (2008). Characterisation of anthocyanins in red cabbage using high resolution liquid chromatography coupled with photodiode array detection and electrospray ionization-linear ion trap mass spectrometry. *Food Chemistry*, 109(1):219-226.

Arapitsas P., Turner C. (2008). Pressurized solvent extraction and monolithic column-HPLC/DAD analysis of anthocyanins in red cabbage. *Talanta*, 74(5):1218-1223.

Arun M., Asha V.V. (2007). Preliminary studies on antihepatotoxic effect of Physalis peruviana Linn. (Solanaceae) against carbon tetrachloride induced acute liver injury in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 111(1):110-114.

Bermejo Hernández J.E., León J. (1992). *Cultivos Marginados otra perspectiva de 1492*. FAO: Rome, Italy.

Bonetto A., Penna F., Muscaritoli M., Minero V.G., Fanelli F.R., Baccino F.M., Costelli P. (2009). Are antioxidants useful for treating skeletal muscle atrophy? *Free Radical Biology and Medicine*, 47(7):906-916.

Botero Echeverri A.I. (2008). *Aplicación de la Ingeniería de Matrices en el desarrollo da la uchuva mínimamente procesada fortificada con calcio y vitaminas C y E.* Magíster en Ciencias Farmacéuticas Énfasis en Alimentos. Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquía: Medellín. 185 p.

Cardona Alzate C.A., Gallego L.C., Solano Arias P.A. (2007). *Introducción a las operaciones de separación no convencionales*. Manizales, Colombia.

CEPES. (2010). Centro Peruano de Estudios Sociales. Disponible en: http://www.cepes.org.pe/portal/estadistica

Chau C.F., Huang Y.L. (2004). Characterization of passion fruit seed fibres--a potential fibre source. *Food Chemistry*, 85(2):189-194.

Collins A.R. (2005). Antioxidant intervention as a route to cancer prevention. *European Journal of Cancer*, 41(13):1923-1930.

Contreras-Calderón J., Calderón-Jaimes L., Guerra-Hernández E., García-Villanova B. (2010). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, In Press, Corrected Proof.

Corrales M., García A.F., Butz P., Tauscher B. (2009). Extraction of anthocyanins from grape skins assisted by high hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*, 90(4):415-421.

Egan B.M., Greene E.L., Goodfriend T.L. (2001). Insulin resistance and cardiovascular disease. *American Journal of Hypertension*, 14(6):S116-S125.

Eroski. (2005). "Tamarillo" Frutas sabrosas, saludables, imprescindibles. Obtenido 22/02/2011, desde http://frutas.consumer.es/documentos/tropicales/tamarillo/intro.php

Ezzedine K., Latreille J., Kesse-Guyot E., Galan P., Hercberg S., Guinot C., Malvy D. (2010). Incidence of skin cancers during 5-year follow-up after stopping antioxidant vitamins and mineral supplementation. *European Journal of Cancer*, 46(18): 3316-3322.

Fischer G., Ebert G., Lüdders P. (2000). Provitamin A Carotenoids, organic acids and ascorbic acid content of cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*) ecotypes grown at two tropical altitudes. *Acta Horticulturae*, 531:263-268.

Floris T., Filippino G., Scrugli S., Pinna M.B., Argiolas F., Argiolas A., Murru M. Reverchon E. (2010). Antioxidant compounds recovery from grape residues by a supercritical antisolvent assisted process. *The Journal of Supercritical Fluids*, 54(2):165-170.

Franzini L., Ardigò D., Valtueña S., Pellegrini N., Del Rio D., Bianchi M.A., Scazzina F., Piatti P.M., Brighenti F., Zavaroni I. (2010). Food selection based on high total antioxidant capacity improves endothelial function in a low cardiovascular risk population. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, In Press, Corrected Proof.

García-Viguera C., Zafrilla P., Tomás-Barberán F. (1998). The use of acetone as an extraction solvent for anthocyanins from strawberry fruit. *Phytochemical Analysis*, 9(6):274-277.

García Fajardo J.A., Ramos Godínez M.d.R., Mora Galindo J. (1999). Estructura de la semilla de aguacate y cuantificación de la grasa extraída por diferentes técnicas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(Esp, Congreso mundial del aguacate):123-128.

Guzmán R., De Villaveces M.C., De Clavijo E. (1977). Estudio de la composición química del lulo (Solanum quitoense Lam.) y obtención de un producto comercial a partir de este fruto. *Frutas Tropicales, Boletín Informativo*, 2:59-69.

Ikram E.H.K., Eng K.H., Jalil A.M.M., Ismail A., Idris S., Azlan A., Nazri H.S.M., Diton N.A.M., Mokhtar R.A.M. (2009). Antioxidant capacity and total phenolic content of Malaysian underutilized fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(5):388-393.

Jaswal S., Mehta H.C., Sood A.K., Kaur J. (2003). Antioxidant status in rheumatoid arthritis and role of antioxidant therapy. *Clinica Chimica Acta*, 338(1-2):123-129.

Kou M.-C., Yen J.-H., Hong J.-T., Wang C.-L., Lin C.-W., Wu M.-J.. (2009). Cyphomandra betacea Sendt. phenolics protect LDL from oxidation and PC12 cells from oxidative stress. *LWT - Food Science and Technology*, 42(2):458-463.

Krishnaiah D., Sarbatly R., Nithyanandam R. (2010). A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. *Food and Bioproducts Processing*, In Press, Corrected Proof.

Lan Y.-H., Chang F.-R., Pan M.-J., Wu C.-C., Wu S.-J., Chen S.-L., Wang S.-S., Wu M.-J., Wu Y.-C. (2009). New cytotoxic withanolides from Physalis peruviana. *Food Chemistry*, 116(2):462-469.

Leterme P., Buldgen A., Estrada F., Londoño A.M. (2006). Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. *Food Chemistry*, 95(4):644-652.

Luque-Rodríguez J., Luque de Castro M., Pérez-Juan P. (2007). Dynamic superheated liquid extraction of anthocyanins and other phenolics from red grape skins of winemaking residues. *Bioresource technology*, 98(14):2705-2713.

Mantell C., Rodríguez M., Martinez de la Ossa E. (2002). Semi-batch extraction of anthocyanins from red grape pomace in packed beds: experimental results and process modelling. *Chemical Engineering Science*, 57(18):3831-3838.

Martínez Sánchez G. (2005). Especies reactivas del oxígeno y balance redox, parte I: aspectos básicos y principales especies reactivas del oxígeno. *Revista Cubana de Farmacia*, 39(3):1-11.

Mateos R., Lecumberri E., Ramos S., Goya L., Bravo L. (2005). Determination of malondialdehyde (MDA) by high-performance liquid chromatography in serum and liver as a biomarker for oxidative stress: Application to a rat model for hypercholesterolemia and evaluation of the effect of diets rich in phenolic antioxidants from fruits. *Journal of Chromatography B*, 827(1):76-82.

McCune L.M., Johns T. (2002). Antioxidant activity in medicinal plants associated with the symptoms of diabetes mellitus used by the Indigenous Peoples of the North American boreal forest. *Journal of Ethnopharmacology*, 82(2-3):197-205.

Mertz C., Gancel A.-L., Gunata Z., Alter P., Dhuique-Mayer C., Vaillant F., Perez A.M., Ruales J., Brat P. (2009). Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(5):381-387.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2009). *Anuario estadístico de Frutas y Hortalizas 2004-2008 y sus calendarios de siembras y cosechas*. Bogotá, D.C.

Murga R., Sanz M.T., Beltrán S., Cabezas J.L. (2002). Solubility of some phenolic compounds contained in grape seeds, in supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 23(2):113-121.

Murillo E., Meléndez-Martínez A.J., Portugal F. (2010). Screening of vegetables and fruits from Panama for rich sources of lutein and zeaxanthin. *Food Chemistry*, 122(1):167-172.

Ordóñez R.M., Ordóñez A.A.L., Sayago J.E., Nieva Moreno M.I., Isla M.I. (2006). Antimicrobial activity of glycosidase inhibitory protein isolated from Cyphomandra betacea Sendt. fruit. *Peptides*, 27(6):1187-1191.

Pérez-Jiménez J., Saura-Calixto F. (2007). Metodología para la evaluación de capacidad antioxidante en frutas y hortalizas. En: *V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones*. Cartagena, Murcia, España.

Puente L.A., Pinto-Muñoz C.A., Castro E.S., Cortés M. (2010). Physalis peruviana Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, In Press, Corrected Proof.

Ramadan M., Sitohy M., Moersel J.-T. (2008). Solvent and enzyme-aided aqueous extraction of goldenberry (*Physalis peruviana L.*) pomace oil: impact of processing on composition and quality of oil and meal. *European Food Research and Technology*, 226(6):1445-1458.

Ramadan M.F., Moersel J.T. (2007). Impact of enzymatic treatment on chemical composition, physicochemical properties and radical scavenging activity of goldenberry (Physalis peruviana L.) juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(3):452-460.

Ramadan, M.F., Mörsel, J.T. (2003). Oil Goldenberry (Physalis peruviana L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(4):969-974.

Ramful D., Bahorun T., Bourdon E., Tarnus E., Aruoma O.I. (2010). Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*, 278(1):75-87.

Repo-de-Carrasco R., Encina Zelada C.R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas Peruanas. *Revista de la Sociedad Química de Perú*, 74(2):108-124.

Restrepo Duque A.M. (2008). *Nuevas perspectivas de consumo de frutas: Uchuva (Physalis peruviana L.) y Fresa (Fragaria vesca L.) mínimamente procesadas fortificadas con vitamina E.* Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia: Medellín. 107 p.

Rodríguez Ulloa S.L., Rodríguez Ulloa E.M. (2007). Efecto de la ingesta de Physalis peruviana (aguaymanto) sobre la glicemia postprandial en adultos jóvenes. *Revista Médica Vallejiana*, 4(1):43-53.

Roginsky V., Lissi E.A. (2005). Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*, 92(2):235-254.

Romero Castañeda R. (1991). *Frutas silvestres de Colombia*. Instituto Colombiano de Cultura Hispánica: Bogotá.

Rossi C., Di Lena A., La Sorda R., Lattanzio R., Antolini L., Patassini C., Piantelli M., Alberti S. (2008). Intestinal tumour chemoprevention with the antioxidant lipoic acid stimulates the growth of breast cancer. *European Journal of Cancer*, 44(17):2696-2704.

Sadani G.R., Nadkarni G.D. (1996). Role of tissue antioxidant defence in thyroid cancers. *Cancer Letters*, 109(1-2):231-235.

Salmon, A.B., Richardson A., Pérez V.I. (2010). Update on the oxidative stress theory of aging: Does oxidative stress play a role in aging or healthy aging? *Free Radical Biology and Medicine*, 48(5):642-655.

Sampietro A.R., Isla M.I., Quiroga E.N., Vattuone M.A. (2001). An N-acetylglucosamine oligomer binding agglutinin (lectin) from ripe Cyphomandra betacea Sendt. fruits. *Plant Science*, 160(4):659-

667.
Scalzo J., Politi A., Pellegrini N., Mezzetti B., Battino M. (2005). Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, 21(2):207-213.
Selani M.M., Contreras-Castillo C.J., Shirahigue L.D., Gallo C.R., Plata-Oviedo M., Montes-Villanueva N.D. (2011). Wine industry residues extracts as natural antioxidants in raw and cooked chicken meat during frozen storage. *Meat Science*, 88(3):397-403.
Tapia M.E., Fries A.M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. FAO y ANPE: Lima.
Vasco C., Ávila J., Ruales J., Svanberg U., Kamal-Eldin A. (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum Cav.*). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(S7):278-288.
Vasco C., Ruales J., Kamal-Eldin A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4):816-823.
Vatai T., Skerget M., Knez Z., Kareth S., Wehowski M., Weidner E. (2008). Extraction and formulation of anthocyanin-concentrates from grape residues. *The Journal of Supercritical Fluids*, 45(1):32-36.
Wang S., Melnyk J.P., Tsao R., Marcone M.F. (2011). How natural dietary antioxidants in fruits, vegetables and legumes promote vascular health. *Food Research International*, 44(1):14-22.
Wu S.-J., Chang S.-P., Lin D.-L., Wang S.-S., Hou F.-F., Ng L.-T. (2009). Supercritical carbon dioxide extract of Physalis peruviana induced cell cycle arrest and apoptosis in human lung cancer H661 cells. *Food and Chemical Toxicology*, 47(6):1132-1138.
Wu S.-J., Ng L.-T., Chen C.-H., Lin D.-L., Wang S.-S., Lin C.-C. (2004a). Antihepatoma activity of Physalis angulata and P. peruviana extracts and their effects on apoptosis in human Hep G2 cells. *Life Sciences*, 74(16):2061-2073.
Wu S.-J., Ng L.-T., Lin D.-L., Huang S.-N., Wang S.-S., Lin C.-C. (2004b). Physalis peruviana extract induces apoptosis in human Hep G2 cells through CD95/CD95L system and the mitochondrial signaling transduction pathway. *Cancer Letters*, 215(2):199-208.
Wu S.J., Tsai J.Y., Chang S.P., Lin D.L., Wang S.S., Huang S.N., Ng L.T. (2006). Supercritical carbon dioxide extract exhibits enhanced antioxidant and anti-inflammatory activities of Physalis peruviana. *Journal of Ethnopharmacology*, 108(3): 07-413.
Xu Z., Wu J., Zhang Y., Hu X., Liao X., Wang Z. (2010). Extraction of anthocyanins from red cabbage using high pressure CO_2. *Bioresource Technology*, 101(18):7151-7157.