

Cambios en la Actividad Antioxidante en Frutos de Mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw.) durante su Desarrollo y Maduración

Changes in the Antioxidant Activity in Mortiño Fruits (*Vaccinium meridionale* Sw.) during Development and Ripening

Carlos Gaviria Montoya¹; Juan David Hernández Arredondo²; Mario Lobo Arias³; Clara Inés Medina Cano⁴ y Benjamín Alberto Rojano⁵

Resumen. Los frutos de mortiño (*Vaccinium meridionale* Sw.) han atraído el interés de los consumidores debido a su alto contenido de compuestos polifenólicos y actividad antioxidante; sin embargo, no se ha realizado ninguna evaluación sobre los cambios durante su crecimiento y maduración. En este estudio se evaluó la variación en el contenido de fenoles y antocianinas totales y de la actividad antioxidante por las metodologías TEAC-ABTS, TEAC-DPPH, FRAP y ORAC. El fruto de mortiño presentó una curva de desarrollo doble sigmoide con tres estados de desarrollo diferenciables. La actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales presentaron los valores máximos los días 17 para ORAC (27.116 TEAC/ 100 g FF) y 36 para TEAC-ABTS (16.794 TEAC/ 100 g FF), TEAC-DPPH (5.502 TEAC/ 100 g FF), FRAP (1.289 AEAC/ 100 g FF) y fenoles totales (4.804 mg ácido gálico/ 100 g FF). Los valores finales fueron 6.446, 5.688, 1.763 TEAC/ 100 g FF para ORAC, ABTS, DPPH, 375 AEAC/ 100 g FF para FRAP y 1.373 mg ácido gálico/ 100 g FF. El contenido de antocianinas varió desde 4,2 mg eq cianidin-3-glucosido/ 100 g FF hasta 271,9 mg eq cianidin-3-glucosido/ 100 g FF al final de la maduración.

Palabras clave. Estrés oxidativo, desarrollo de fruto, polifenoles, frutales andinos.

Abstract. The mortiño fruits (*Vaccinium meridionale* Sw.) have attracted the interest of consumers due to its high content of polyphenolic compounds and antioxidant activity; however, there has been no assessment of changes during maturation and ripening. In this study, the changes in content of total polyphenols and total anthocyanins, and antioxidant activity were evaluated by TEAC-ABTS, TEAC-DPPH, FRAP and ORAC methods. The mortiño fruit exhibit a double sigmoid growth curve with three differentiable stages of growth. The antioxidant activity and total polyphenols content presented maximum the 17 day for ORAC (27,116 TEAC/ 100 g FW) and 36 day for TEAC-ABTS (16,794 TEAC/ 100 g FW), TEAC-DPPH (5,502 TEAC/ 100 g FW), FRAP (1,289 AEAC/ 100 g FW) and total polyphenols (4,804 mg gallic acid/ 100 g FW). The final values was 6,446, 5,688, 1,763 TEAC/ 100 g FW for ORAC, TEAC- ABTS, TEAC-DPPH, 375 AEAC/ 100 g FW for FRAP and 1,373 mg gallic acid / 100 g FW for total polyphenols. The total anthocyanins content varied from 4.2 mg eq cyanidin-3-glucoside / 100 FW to 271.9 mg eq cyanidin-3-glucoside / 100 g FF at end of ripening.

Key words. Oxidative stress, fruit development, polyphenols, andean fruits.

Las plantas producen especies reactivas del oxígeno (ERO) dentro de su metabolismo normal, las cuales pueden aumentar durante periodos de estrés (Noctor y Foyer, 1998). Las fuentes más comunes de ERO son la cadena de transporte de electrones en los cloroplastos y mitocondria, la fotorespiración y las peroxidasas (Asada, 1996; Møller, 2001). La producción de ERO es una característica intrínseca del proceso de maduración, importante en el proceso de deterioro oxidativo (Del Río *et al.*, 1998). En el proceso de oxidación, Jiménez *et al.*, 2002 registraron un incremento en la formación del radical

superóxido, acumulación de peróxido de hidrógeno, aumento de la peroxidación lipídica y en los productos de oxidación de proteínas. Para disminuir los efectos nocivos de las ERO, los seres vivos cuentan con sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos. Sin embargo, se ha encontrado que la actividad de los sistemas enzimáticos antioxidantes disminuye a medida que avanza el proceso de maduración (Huang *et al.*, 2007).

Los polifenoles son parte de los metabolitos secundarios que se encuentran en las plantas y cumplen diferentes

¹ Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín – Facultad de Ciencias - Escuela de Química. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <carloandres.gaviria@gmail.com>

² Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Facultad de Ciencias Agrarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <juandhera@hotmail.com>

³ Investigador Principal. Corpoica C.I. "La Selva" km. 7 vía Las Palmas - Vereda Llanogrande, Rionegro, Antioquia, Colombia. <mlobo@corpoica.org.co>

⁴ Investigador Asistente. Corpoica C.I. "La Selva" km. 7 vía Las Palmas - Vereda Llanogrande, Rionegro, Antioquia, Colombia. <cmedina@corpoica.org.co>

⁵ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín – Facultad de Ciencias - Escuela de Química. A.A. 3840, Medellín, Colombia. <brojano@unal.edu.co>

Recibido: Noviembre 16 de 2011; aceptado: Marzo 22 de 2012.

funciones, como defensa contra patógenos, atracción de polinizadores y pigmentación entre otros. El incremento en la producción y contenido de polifenoles como respuesta a factores de estrés biótico y abiótico, generadores de estrés oxidativo, sugieren que éstos se encuentran asociados al sistema de protección antioxidante (Steyn *et al.*, 2002; Treutter, 2005).

El mortiño, *Vaccinium meridionale* Sw., pertenece a la familia Ericaceae y es nativo de la zona alto andina y se encuentra distribuido desde Venezuela hasta Bolivia (Luteyn, 2002). Al igual que otros *Vaccinium*, el mortiño se caracteriza por su alto contenido de fenoles, antocianinas y una alta actividad antioxidante (Garzón *et al.*, 2010; Rojano *et al.*, 2009). En Colombia el mortiño también es llamado vichachá o agraz y se consume como fruto fresco o transformado artesanalmente en licores, mermeladas y postres, siendo una importante fuente de compuestos polifenólicos, los cuales se encuentran asociados con efectos positivos sobre la salud (Zafra *et al.*, 2007).

El desarrollo y maduración de los frutos se encuentra asociado con cambios en su estructura física y química; de tal manera, que el contenido de algunos metabolitos y la actividad antioxidante varía según el estado de desarrollo. En cranberry la actividad antioxidante FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) y TEAC (*Trolox Equivalent Antioxidant Capacity*) y el contenido de polifenoles disminuye durante la maduración. El contenido de antocianinas y flavonoles disminuye durante el desarrollo del ovario floral y crecimiento del fruto, incrementándose levemente al final de la maduración (Çelik *et al.*, 2008; Vvedenskaya y Vorsa, 2004). Durante el proceso de maduración del *Vaccinium corymbosum* L., el contenido de fenoles y ácidos hidroxycinámicos y la actividad antioxidante TEAC, disminuyó durante el proceso de maduración (Rodarte *et al.*, 2008). El objetivo de esta investigación fue determinar el patrón de desarrollo del fruto de mortiño y los cambios en su contenido de fenoles y antocianinas totales y la actividad antioxidante durante su desarrollo y maduración, para una mejor comprensión y aprovechamiento de este recurso natural alto andino, con grandes alternativas agroindustriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Reactivos y equipos. El radical libre DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracil), fosfato ácido de sodio, metanol, tricloruro de hierro, 2,4,6-tri(2-piridil) triazina (TPTZ), 2,2-Azinobis (3etilbenzotiazolin-

6-sulfónico) (ABTS), AAPH [2,2'-Azo-bis(2-amidinopropano) dihydrochloruro, Trolox (Acido 6-hidroxi- 2,5,8-tetrametilchromano-2-carboxílico), fluoresceinato de sodio, ácido ascórbico, fueron obtenidos de Sigma Chemical®; Folin-Ciocalteu fue obtenido de Merck®. El agua usada en los experimentos era grado HPLC. Los ensayos ORAC, se realizaron en un espectrofotómetro de fluorescencia, PerkinElmer® LS55; los ensayos de absorción UV- Vis se hicieron en un espectrofotómetro Jenway® 6405 y en lector de placas Thermo Scientific Multiskan® Spectrum UV-Vis.

Frutos. Se colectaron diez frutos en diferentes estratos de las plantas que hacían parte de la colección dispuesta en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA - Centro de investigación "La Selva", localizado en el municipio de Rionegro (Antioquia-Colombia), a 2.120 msnm, con una temperatura promedio de 17 °C, humedad relativa de 78% y una precipitación promedio anual de 1.700 mm, perteneciente a la formación ecológica bosque húmedo montano bajo. El material vegetal fue referenciado, partiendo de flores que presentaban sus pétalos abiertos y una coloración blanca a rosada.

Preparación de extractos. Se obtuvieron de la siguiente forma: 20 g de muestra fueron homogenizadas, usando como solvente de extracción metanol - HCl 1% en una relación (6:1 p/v) (Degenhardt *et al.*, 2000). Este procedimiento se repitió hasta agotar la muestra. Los extractos fueron filtrados a través de vidrio sinterizado y concentrados en rotaevaporador a 40 °C. Los extractos se almacenaron a -20 °C durante el periodo de estudio.

Determinación de fenoles totales. Se realizó por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965). Se construyó una curva patrón usando como estándar ácido gálico. Se diluyó el extracto a una concentración en la cual el contenido de fenoles se encontrara dentro del intervalo de la curva patrón. Los resultados fueron expresados como mg de ácido gálico / 100 g de fruta fresca. La absorbancia fue medida en un lector de placas Thermo Scientific Multiskan® Spectrum UV-Vis.

Determinación de antocianinas totales. Se determinaron mediante el método diferencial de pH (Giusti *et al.*, 1999). La absorbancia fue medida

en un espectrofotómetro Jenway® 6405 UV/ Vis a 530 nm y 700 nm en buffers pH 1,0 y 4,5, usando $A = [(A_{530} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{530} - A_{700})_{pH4.5}]$, con un coeficiente de extinción molar para el cianidin - 3 - glucósido (C-3-G) de 26 900. Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de cianidin - 3 - glucósido por 100 g de fruta fresca.

Evaluación de la actividad antioxidante

TEAC-DPPH. Se empleó el método de Brand *et al.*, 1995, con algunas modificaciones (Rojano *et al.*, 2008). Se evaluó la capacidad de las muestras para atrapar el radical DPPH, por medio de la disminución en la absorbancia leída, luego de 30 min de reacción, en un lector de placas Thermo Scientific Multiskan® Spectrum UV-Vis, a una longitud de onda de 517 nm. Los resultados se expresaron en valores TEAC/ 100 g FF (μmol equivalentes de Trolox por 100 g de fruta fresca), mediante la construcción de una curva patrón usando como antioxidante TROLOX®.

TEAC-ABTS⁺. El radical se generó por una reacción de oxidación del ABTS con persulfato de potasio. Se evaluó la capacidad de las muestras para atrapar el radical ABTS, por medio de la disminución en la absorbancia leída, luego de 30 min de reacción (Re *et al.*, 1999). Los resultados se expresan como valores μmol equivalentes de Trolox por 100 g de fruta fresca (TEAC/ 100 g FF), mediante la construcción de una curva patrón usando como patrón Trolox. La absorbancia fue medida en un espectrofotómetro Jenway® 6405 UV/ Vis a 732 nm.

Poder reductor FRAP. Se realizó según el método de Benzie y Strain, 1996. Se utilizaron 900 μl de solución FRAP, 50 μl de muestra y 50 μl de agua destilada. Luego de 30 min se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm. Se construyó la curva de referencia usando ácido ascórbico. Las actividades de las muestras se expresaron como AEAC/ 100 g FF (mg equivalentes de ácido ascórbico /100 g fruta fresca). La absorbancia fue medida en un espectrofotómetro Jenway® 6405 UV/ Vis a 595 nm.

Actividad ORAC (Oxygen radical absorbance capacity). El procedimiento experimental está basado en reportes previos de Ou *et al.*, 2001, en el cual se emplea Trolox como estándar y condiciones controladas de temperatura a 37 °C y pH 7,4. Las lecturas se realizan a una γ de excitación 493 nm y

slit de excitación 10, γ de emisión 515 nm y *slit* de emisión 15, con atenuador del 1% y sin placa atenuadora. Para el desarrollo de la técnica se utilizan soluciones de fluoresceína 1×10^{-2} M en PBS (75 mM) AAPH 0,6 M en PBS (75 mM). La muestra contiene 21 μL de fluoresceína, 2.899 μL de PBS, 30 μL del extracto ensayado y 50 μL de AAPH. Como referencia se usó Trolox. El efecto protector del antioxidante es calculado usando las diferencias de áreas bajo la curva de decaimiento de la fluoresceína entre el blanco y la muestra, se compara contra la curva del Trolox y se expresa en valores TEAC/100 g FF (μmol equivalentes de Trolox por 100 g de fruta fresca), de acuerdo a la ecuación (1).

$$ORAC = \frac{AUC - AUC^0}{(AUC_{Trolox} - AUC^0)} f[Trolox] \quad (1)$$

Donde AUC es el área bajo la curva de la muestra, AUC⁰ área bajo la curva para el control, AUC_{Trolox} área bajo la curva para el Trolox, *f* es el factor de dilución de los extractos. La fluorescencia se midió en un espectrofotómetro de fluorescencia PerkinElmer® LS55.

Análisis estadístico. Las medias, desviaciones estándar y coeficientes de correlación de Pearson fueron calculadas usando el software estadístico R. Las medias fueron agrupadas usando Tukey's studentized range (HSD) test a un nivel de significancia de 0,05. Los parámetros ORAC fueron calculados usando el software OriginPro® (Origin Lab, Northampton, MA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento del desarrollo y maduración del mortiño presenta una curva de crecimiento doble sigmoide, el cual puede observarse en la Figura 1, donde se presenta el cambio del peso y diámetro de los frutos durante su proceso de crecimiento y maduración. Este comportamiento ha sido observado en otros berries, donde se describen tres estados de crecimiento y desarrollos fisiológicos definidos: inicio del desarrollo de embrión y endospermo; crecimiento del pericarpio, finalización del desarrollo de embrión y endospermo; rápido crecimiento del pericarpio, ablandamiento, acumulación de sólidos solubles (Edwards *et al.*, 1970; Young, 1952;). En la Figura 1 puede observarse que para el mortiño, estos estados de crecimiento comprenden los periodos del día 0–52, 53–105 y 106–171, aproximadamente.

El contenido de fenoles totales varió durante el desarrollo de la fruta, la diferencia entre el valor máximo de fenoles totales y su valor final fue del 71,4%. Al comparar el comportamiento en el contenido de fenoles totales y el desarrollo del fruto (peso y diámetro), se observa un rápido incremento al iniciarse el desarrollo alcanzando la concentración máxima el día 36. El comportamiento del contenido de fenoles totales luego de alcanzar su máximo presenta un comportamiento inverso al observado en el cambio del diámetro y peso del fruto, diferenciándose muy bien los tres estados de desarrollo. En los frutos de mortiño la acumulación de antocianinas se presenta principalmente en la epidermis y su presencia

se observó a partir del día 105, sin embargo, su contenido solo fue detectable durante el último estado de desarrollo, a partir del día 120. El contenido de antocianinas totales se incrementó de un valor de 0,42 mg eq C-3-G/ 100 g FF en el día 120 a 271,9 mg eq C-3-G/ 100 g FF. Las antocianinas presentes en el mortiño fueron identificadas cromatográficamente por su tiempo de retención (datos no mostrados) y son: cianidin - 3 - glucósido, malvidin - 3 - glucósido y pelargonidin - 3 - glucósido.

Existen algunas referencias en los que se señala la relación directa entre el contenido de antocianinas totales y el área/ peso de los frutos del género *Vaccinium*,

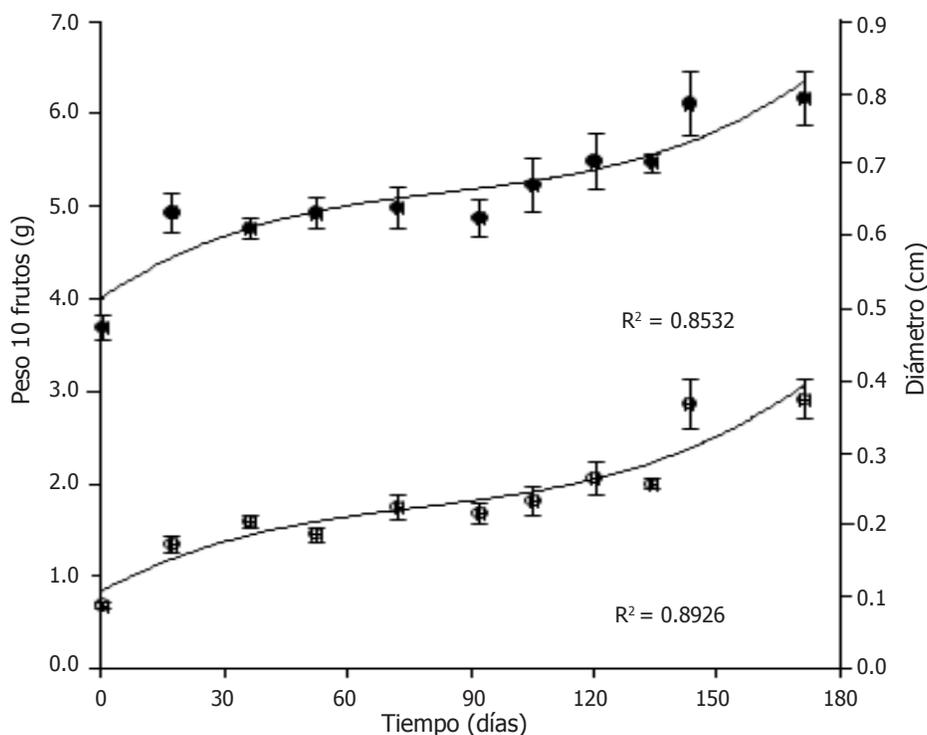


Figura 1. Cambio del peso (○) y diámetro (●) de frutos de mortiño durante su desarrollo y maduración. Las barras indican la desviación estándar.

debido a que la mayor cantidad de antocianos se ubican en la epidermis del fruto, sin embargo, variedades como el bilberry (*Vaccinium myrtillus* L) presentan una distribución abundante de antocianos en todo el cuerpo del fruto. (Kalt *et al*, 2001; Prior *et al*, 1998; Riihinen *et al*, 2008). El contenido de antocianinas totales en los frutos de mortiño expresados como mg eq C-3-G/ 100 g FF es alto, 271,9, comparado con los mencionados para el Northern highbush blueberry

(*Vaccinium corymbosum*) 92–235, Rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) 60–187 y para Lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) 290–300 y deerberry (*Vaccinium stamineum*) 371–630. (Prior *et al*, 1998; Kalt y Dufour, 1997; Capocasa *et al*, 2008; Wang y Ballington, 2007).

La actividad antioxidante se estimó mediante el uso de diversas metodologías, donde cada una valoró

características diferentes de la muestra. Debido a que la evaluación del fruto se realiza durante su desarrollo y maduración, los compuestos y la actividad antioxidante pueden variar debido a las transformaciones metabólicas que ocurren durante este proceso. Los valores TEAC-DPPH y TEAC-ABTS en los frutos presentó un rápido incremento en las primeras semanas, presentando su máximo valor el día 36, disminuyendo al avanzar el desarrollo del fruto.

La actividad reductora FRAP de los frutos presentó un comportamiento similar a la actividad evaluada con el radical ABTS^{•+} y DPPH[•]. La actividad reductora se incrementó desde el día cero hasta el día 36 (Figura 2). El comportamiento de la actividad antioxidante determinada por estas metodologías, presentó un comportamiento similar al observado para el contenido de fenoles totales y puede constatarse con los valores de los coeficientes de correlación (Tabla 1).

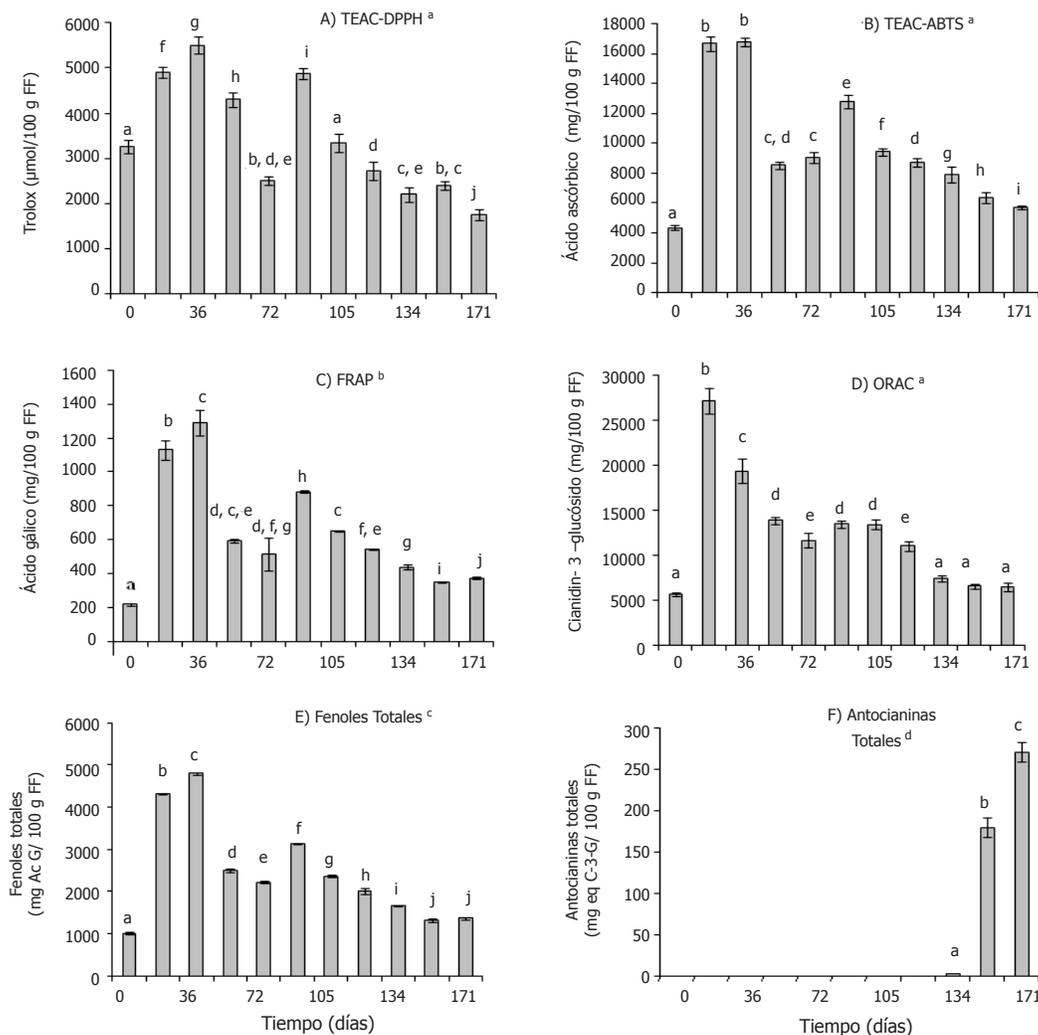


Figura 2. Cambios en la actividad antioxidante evaluada por las metodologías A) TEAC-DPPH, B) TEAC-ABTS, C) FRAP y D) ORAC y el contenido de E) Fenoles Totales y F) Antocianinas Totales, en frutos de mortiño durante su desarrollo y maduración. Las barras indican la desviación estándar. Las medias fueron agrupadas usando Tukey's Studentized Range (HSD) Test a un nivel de significancia de 0,05. La actividad antioxidante se expresa como (a) µmol equivalentes de Trolox por 100 g de fruta fresca, (b) mg equivalentes de ácido ascórbico por 100 g de fruta fresca y el contenido de fenoles totales como (c) mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de fruta fresca, y antocianinas totales (d) mg equivalentes de cianidin- 3 –glucósido por 100 g de fruta fresca.

Tabla 1. Coeficientes de correlación entre los valores de la actividad antioxidante evaluada por las metodologías TEAC-DPPH, TEAC-ABTS, FRAP y ORAC.

	DPPH TEAC	ABTS TEAC	FRAP	ORAC	Fenoles Totales
DPPH TEAC	1	0,8225	0,8552	0,7841	0,8652
ABTS TEAC	0,8225	1	0,9877	0,9193	0,9848
FRAP	0,8552	0,9877	1	0,8976	0,9934
ORAC	0,7841	0,9193	0,8976	1	0,9200
Fenoles Totales	0,8652	0,9848	0,9934	0,9200	1

La actividad antioxidante evaluada con la metodología ORAC varió durante todo el periodo de estudio y presentó su valor máximo en el día 17 con un valor de 27.116 TEAC/ 100 g FF, presentando un incremento más acelerado que el contenido de fenoles totales y la actividad evaluada por las metodologías TEAC-DPPH, TEAC-ABTS y FRAP, las cuales presentaron su valor máximo el día 36 (Figura 2). A partir del valor máximo, la actividad ORAC disminuye de forma gradual y el comportamiento es inverso al observado en el cambio en peso y diámetro del fruto.

Debido a que la inactivación de las ERO puede darse por diferentes mecanismos, SET (Single - Electron Transfer) y HAT (Hydrogen Atom Transfer), la variedad de sustancias con actividad antioxidante y sus diferentes propiedades, es necesario la aplicación de distintas metodologías para evaluar la actividad antioxidante que diluciden los mecanismos y faciliten una apreciación global de la actividad antioxidante. Adicionalmente, se pueden observar las relaciones entre las metodologías evaluadas que permitan el uso de aquellas de más fácil implementación y aplicabilidad para la evaluación de la actividad antioxidante en diferentes matrices (Prior *et al.*, 2005; Rivero *et al.*, 2005).

Los valores TEAC-DPPH y TEAC-ABTS, no diferencian el mecanismo mediante el cual se realiza la inhibición (HAT o SET), pero si dan información acerca de en cuál medio, polar o medianamente polar, es mejor expresada la actividad antioxidante de la muestra evaluada. La actividad FRAP evalúa la actividad antioxidante acorde a su capacidad reductora (mecanismo SET) y la actividad ORAC evalúa la capacidad de inhibir los radicales peróxilo (mecanismo HAT). Los valores de los coeficientes de correlación en la Tabla 2 muestran una alta correlación entre los valores FRAP y ORAC, ($r = 0,898$, $P < 0,05$),

mostrando que la inhibición de radicales por los compuestos presentes en los frutos de mortiño se realiza por ambos mecanismos, HAT y SET.

La disminución en la actividad antioxidante durante el desarrollo y maduración del fruto de mortiño, y particularmente la actividad ORAC la cual se asocia con la protección frente a radicales peróxilo, presenta un comportamiento similar al informado por Huang *et al.*, 2007, en los sistemas antioxidantes enzimáticos en pulpa de la naranja. La depresión de los sistemas de protección antioxidante puede incrementar el estrés oxidativo y el deterioro celular durante el proceso de maduración (Del Río *et al.*, 1998; Jiménez *et al.*, 2002), por lo que el proceso de desarrollo y maduración de frutos de mortiño puede ser descrito como un proceso de estrés oxidativo.

Los valores máximos en la actividad antioxidante y contenido de fenoles totales en estados iniciales e intermedios de desarrollo del fruto de mortiño, también han sido observados en otros berries como: fresa, mora, frambuesa, cranberry, donde los mayores valores ORAC se presentan cuando el fruto se encuentra en estado verde y su menor valor cuando hay una coloración rosa o en la madurez total (Acosta *et al.*, 2010; Çelik *et al.*, 2008; Rodarte *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2009; Wang y Lin, 2000). Los frutos en estado verde presentan cloroplastos en sus células epidermales las cuales desarrollan fotosíntesis, contribuyendo al crecimiento y desarrollo (Blanke y Lenz, 1989). El proceso fotosintético genera ERO y las células poseen un sistema antioxidante enzimático como la superóxido dismutasa, glutatión reductasa y no enzimático como glutatión y ácido ascórbico (Noctor y Foyer, 1998). La presencia de estas moléculas con una alta actividad antioxidante junto a la clorofila y sus compuestos de degradación (como la

feoforbida a y b y feofitina a y b), y el alto contenido de fenoles pueden explicar la actividad antioxidante del fruto de mortiño en sus tempranos estados de desarrollo (Lanfer *et al.*, 2005). La degradación de las clorofilas y los carotenoides junto a la disminución en el contenido de polifenoles durante el desarrollo del fruto de mortiño, provocan una disminución de la actividad antioxidante. En su estado de consumo, los frutos de mortiño presentaron valores superiores o similares en la actividad antioxidante y contenido de fenoles totales a los señalados en la bibliografía para frutos similares y de producción comercial, como mora, fresa y arándano (Howard y Hager, 2007).

El contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante evaluada por diferentes metodologías presentó una alta correlación (Tabla 1). Así es posible inferir que los compuestos fenólicos son los principales responsables de la actividad antioxidante de los frutos de mortiño, debido a sus propiedades redox y pueden actuar como agentes reductores, ya sea como donadores de átomos de hidrógeno o como inactivadores del oxígeno singlete (Rice *et al.*, 1996).

CONCLUSIONES

El fruto de mortiño presenta una curva de desarrollo doble sigmoide con tres estados de desarrollo diferenciables. El comportamiento de los valores en la actividad antioxidante indica que el desarrollo y maduración de los frutos de mortiño puede ser descrito como un proceso de estrés oxidativo. Tomando como referencia el valor ORAC y el contenido de fenoles totales, el día óptimo de cosecha para el mortiño es a partir del día 143, ya que sus valores no cambian de forma significativa y el contenido de antocianinas puede continuar incrementándose en poscosecha, como ha sido observado en otras variedades de arándanos. Los altos valores en la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales en su estado de recolección, reafirman el posicionamiento de los frutos del mortiño como una especie promisoría para el desarrollo de la agroindustria colombiana y como una fuente nutracéutica debido a la presencia de compuestos polifenólicos que están implicados con la prevención de enfermedades asociadas con el estrés oxidativo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia mediante los proyectos "Categorización de ambientes con

relación a la producción de antioxidantes de agraz o mortiño (*Vaccinium meridionale Sw*)", 051-20081.363-33333 y "Poda y niveles de sombrero en el mortiño (agraz) y arándano, y su relación con el comportamiento productivo y fenológico en diversos ambientes", 051-2008L21363-3473; y a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, O., F. Vaillant, S. Cozzano, C. Mertz, A. Pérez and M. Castro. 2010. Phenolic content and antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus* Schldtl.) during three edible maturity stages. *Food Chemistry* 119(4): 1497-1501.
- Asada, K. 1996. Capítulo 5: Radical production and scavenging in the chloroplasts. pp. 123-150. In: Baker, N.R. (ed.). *Photosynthesis and the environment: Advances in photosynthesis and respiration*. First edition. Editorial Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 508 p.
- Benzie, I.F. and J.J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239(1): 70-76.
- Blanke, M.M. and E. Lenz. 1989. Fruit photosynthesis. *Plant Cell Environment* 12(1): 31-46.
- Brand, W., M.E. Cuvelier and C. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology - LWT* 28(1): 25-30.
- Capocasa, F., J. Scalzo, B. Mezzetti and M. Battino. 2008. Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: the role of genotype. *Food Chemistry* 111(4): 872-878.
- Çelik, H., M. Özgen, S. Serçe and C. Kaya. 2008. Phytochemical accumulation and antioxidant capacity at four maturity stages of cranberry fruit. *Scientia Horticulturae* 117(4): 345-348.
- Degenhardt, A., H. Knapp and P. Winterhalter. 2000. Separation and purification of anthocyanins by high-speed countercurrent chromatography and screening for antioxidant activity. *Journal Agricultural and Food Chemistry* 48(2): 338-343.

- Del Río, L.A., G.M. Pastori, J.M. Palma, L.M. Sandalio, F. Sevilla, F.J. Corpas, A. Jiménez, E. López and J.A. Hernández. 1998. The activated oxygen role of peroxisomes in senescence. *Plant Physiology* 116(4): 1195-1200.
- Edwards, T.W., W.B. Sherman and R.H. Sharpe. 1970. Fruit development in short and long cycle blueberries. *HortScience* 5(1): 274-275.
- Garzón, G.A., C.E. Narváez, K.M. Riedl and S.J. Schwartz. 2010. Chemical composition, anthocyanins, non-anthocyanin phenolics and antioxidant activity of wild bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) from Colombia. *Food Chemistry* 122(4): 980-986.
- Giusti, M., E. Rodríguez and Wrolstad. 1999. Molar absorptivity and color characteristics of acylated and non-acylated pelargonidin-based anthocyanins. *Journal Agricultural and Food Chemistry* 47(11): 4631-4637.
- Howard, L.R. and T.J. Hager. 2007. Chapter 3. Berry fruit phytochemicals pp. 73-104. In: Zhao, Y. (ed.). First edition. *Berry fruit: value-added products for health promotion*. Taylor and Francis Group, Boca Raton, Fla. 430 p.
- Huang, R., R. Xia, L. Hu, Y. Lu and M. Wang. 2007. Antioxidant activity and oxygen-scavenging system in orange pulp during fruit ripening and maturation. *Scientia Horticulturae* 113(2): 166-172.
- Jiménez, A., G. Creissen, B. Kular, J. Firmin, S. Robinson, M. Verhoeyen and P. Mullineaux. 2002. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta* 214(5): 751-758.
- Kalt, W. and D. Dufour. 1997. Health functionality of blueberries. *HortTechnology* 7(3): 216-221.
- Kalt, W., D. Ryan, J. Duy, R. Prior, M. Ehlenfeldt and V. Kloet. 2001. Interspecific variation in anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity among genotypes of highbush and lowbush blueberries (*Vaccinium* Section *cyanococcus* spp.). *Journal Agricultural and Food Chemistry* 49(10): 4761-4767.
- Lanfer, U., R. Barros and P. Sinnecker. 2005. Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. *Food Research International* 38(8): 885-891.
- Luteyn, J.L. 2002. Diversity, adaptation, and endemism in neotropical ericaceae: biogeographical patterns in the Vaccinieae. *Botanical Reviews* 68(1): 55-87.
- Møller, I.M. 2001. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52(1): 561-591.
- Noctor, G. and C. Foyer. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49(1): 249-279.
- Ou, B.M. Hampsch-Woodill and R. Prior. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal Agricultural and Food Chemistry* 49(10): 4619-462.
- Prior, R.L., G. Cao, A. Martin, E. Sofic, J. McEwen and C. O'Brien. 1998. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46(7): 2686-2693.
- Prior, R.L., X. Wu and K. Schaich. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal Agricultural and Food Chemistry* 53(10): 4290-4302.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rices. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26(9): 1231-1237.
- Rice, A.A., N.J. Miller and G. Pagana. 1996. Structure antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine* 20(7): 933-956.
- Riihinen, K., L. Jaakola, S. Kärenlampi and A. Hohtola. 2008. Organ-specific distribution of phenolic compounds in bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and 'northblue' blueberry (*Vaccinium corymbosum* x *V. angustifolium*). *Food Chemistry* 110(1): 156-160.
- Rivero, D., S. Pérez, M.L. González, V. Valls-Belles, P. Codoñez and P. Muñiz. 2005. Inhibition of induced

- DNA oxidative damage by beers: Correlation with the content of polyphenols and melanoidins. *Journal Agricultural and Food Chemistry* 53(9): 3637-3642.
- Rodarte, A., I. Eichholz, S. Rohn, L. Kroh and S. Huyskens-Keil. 2008. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chemistry* 109(3): 564-572.
- Rojano, B., C. Gaviria, M. Gil, J. Saez, G. Schinella y H. Tournier. 2008. Actividad antioxidante del isoespintanol en diferentes medios. *Vitae* 15(1): 173-181.
- Rojano, B., C. Ochoa, N. Sánchez, C. Medina, M. Lobo, P. Galeano, A. Mosquera, A. Tamayo, Y. Lopera y C. Gaviria. 2009. Capítulo 5: Propiedades antioxidantes de los frutos de agraz o mortiño (*Vaccinium meridionale* Swartz). pp. 95-112. En: Ligarreto, G. (ed.) *Perspectivas de cultivo de agraz o mortiño (Vaccinium meridionale Swartz) en la zona altoandina de Colombia*. Primera edición. Editorial Gente Nueva, Bogotá. 134 p.
- Singleton, V.L. and J.A. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16(3): 144-158.
- Steyn, W.J., J.S. Wand, D.M. Holcroft and G. Jacobs. 2002. Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytology* 155(3): 349-361.
- Treutter, D. 2005. Significance of flavonoids in plant resistance and enhancement of their biosynthesis. *Plant Biology* 7(6): 581-591.
- Vvedenskaya, I. and N. Vorsa. 2004. Flavonoid composition over fruit development and maturation in American cranberry, *Vaccinium macrocarpon* Ait. *Plant Science* 167(5): 1043-1054.
- Wang, S.Y. and J.R. Ballington. 2007. Free radical scavenging capacity and antioxidant enzyme activity in deerberry (*Vaccinium stamineum* L.). *Food Science and Technology - LWT* 40(8): 1352-1361.
- Wang, S.Y. and H.S. Lin. 2000. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *Journal Agricultural and Food Chemistry* 48(2): 140-146.
- Wang, S., C. Chen and C. Wang. 2009. The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries. *Food Chemistry* 112(3): 676-684.
- Young, R.S. 1952. Growth and development of the blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L. and *V. angustifolium* Ait.). *Journal of The American Society for Horticultural Science* 59(13):167-172.
- Zafra, S., T. Yasmin, M. Bagchi, A. Chatterjee, J.A. Vinson and D. Bagchi. 2007. Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention. *Molecular Nutrition and Food Research* 51(6): 675-683.