

Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendtn.

Alexia Torres

Departamento de Tecnología de Procesos Biológicos y Bioquímicos. Universidad Simón Bolívar.
Sartenejas, Caracas-Venezuela

RESUMEN. El tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) es apreciado por sus cualidades nutritivas y ser fuente de compuestos antioxidantes, calcio, fósforo, potasio y hierro, azúcares, ácidos orgánicos, pectinas y flavonoides. En este estudio se determinaron parámetros físicos (peso, tamaño, fuerza compresión, humedad) y químicos (°Brix, acidez titulable, pH, proteína, fibra dietaria, cenizas, minerales y bioaccesibilidad de minerales, pectina, compuestos antioxidantes) del fruto procedente del Estado Aragua, Venezuela, como una contribución para incentivar y diversificar su consumo. La caracterización reflejó que los frutos estaban en estado de madurez para su consumo (°Brix 10,51, pH 3,5, acidez 0,02 g/100 ml y fuerza de compresión 4,32 Kg/cm²), con rendimiento de pulpa del 74%. Los resultados del análisis de la pulpa madura reflejan un aporte de 30 Kcal/100g, fibra dietaria (4,10g/100g) y valores de fósforo, calcio, magnesio potasio y hierro de 331,32; 21,25; 21,18; 17,03; 7,44 mg/100g respectivamente. Se obtuvo 6,71 y 1,86 % de bioaccesibilidad para calcio y hierro. La pectina extraída (1,00 g/100g) resultó ser de alto metoxilo y alto grado de esterificación. La capacidad antioxidante de la pulpa madura (EC₅₀ de 165 g /g DPPH y poder reductor de 0,07 mmol Fe +2/100g) pudiera atribuirse a la presencia de ácido ascórbico (23,32 mg/100g), licopeno (1,22 mg/100g), compuestos fenólicos (1,39 mg EAG/ g), antocianinas (0,29 mg cianidina/g) y taninos (0,40 mg catequina/100g). Los resultados obtenidos pueden ser utilizados para promover los beneficios sobre la salud y sugerir su uso como ingrediente funcional en el desarrollo de productos.

Palabras clave: Compuestos bioactivos, ingrediente funcional, pulpa, *Cyphomandra betacea*, tomate de árbol.

SUMMARY. Physical, chemical and bioactive compounds of tree tomato (*Cyphomandra betacea*). Tree tomato (*Cyphomandra betacea*) is appreciated for its excellent nutritional qualities, being considered a good source of antioxidants compounds, calcium, phosphorus, potassium and iron, sugars, organic acids, pectins and flavonoids. In this study, were evaluated physical parameters (weight, size, compression strength and humidity) and chemical (°Brix, titratable acidity, pH, protein, dietary fiber, ash, minerals and their bioaccessibility, pectin, antioxidants compounds) of the fruit from the Aragua State, Venezuela, as a contribution to stimulate and diversify the consumption of the tree tomato. The characterization showed that the fruits were at the ripening stage for consumption (°Brix 10.51, pH 3.5, acidity 0.02 g/100ml and 4.32 Kg/cm² compression strength) gave a yield of 74% pulp. The analytical results of the ripped pulp showed a content of 30 Kcal/100g, dietary fiber (4.10g/100g), and minerals such as phosphorous, calcium, magnesium, potassium and iron (331.32, 21.25, 21.18, 17.03 and 7.44 mg/100g, respectively). Bioaccessibility values of 6.71 and 1.86% were reported for calcium and iron. The extracted pectin (1.00 g/100g) was classified as high methoxyl with high degree of esterification. The antioxidant capacity of the ripped pulp (EC₅₀ of 165.00 g /g DPPH and reducing power of 0.07 mmol Fe +2/100g), could be attributed to the presence of ascorbic acid (23.32 mg/100g), lycopene (1.22 mg/100 g), and phenolic compounds (1.39 mg GAE/g), anthocyanins (0.29 mg cyanidin/g) and tannins (0.40 mg catechin/100g). The results obtained encourage the nutritional benefits and suggest applications as a functional ingredient in food product development.

Key words: Bioactive compounds, functional ingredient, pulp, *Cyphomandra betacea*, tree tomato.

INTRODUCCIÓN

El tamarillo o tomate de árbol, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn, pertenece a la familia Solanaceae. Se le encuentra en regiones de clima subtropical, siendo originario de América del Sur. En países como Colombia y Nueva Zelanda, tiene im-

portancia comercial y es producto de exportación. En Argentina, Brasil, y Venezuela también es conocido y se está comenzando a considerarse un cultivo de interés por sus características nutricionales (1). Puede ser consumido crudo, en ensaladas, como postre, aperitivo y en combinación con otros productos. Por el contenido de pectina puede emplearse en la producción de pulpa,

alimentos para niños, mermeladas, lo que lo hace un producto que puede ser explorado comercialmente por la industria de alimentos (2). El fruto es una importante fuente de vitaminas (A, B, C) siendo el contenido de vitamina A (2475 IU/100 g porción comestible) atribuido principalmente a los carotenoides con actividad provitamina A (3,4). La pulpa de tomate de árbol presenta además minerales (calcio, fósforo y potasio), carbohidratos (fructosa, fibra dietaria), ácido gamma amino butírico, el cual se ha asociado a reducción de la presión arterial y compuestos con capacidad antioxidante como licopeno, polifenoles y antocianinas (1, 4). En la literatura se reporta un efecto protector de los compuestos fenólicos de *C. betacea*, dependientes de la dosis y relacionado a su efecto antioxidante (atrapador de radicales libres), en células PC12 (línea celular adrenal feocromocitoma de la rata) luego de la adición de peróxido de hidrógeno para inducir estrés oxidativo (5).

La función de un alimento o ingrediente funcional es mejorar la condición general del organismo y disminuir el riesgo de enfermedades (6) y en ocasiones proveer un valor nutricional. De acuerdo a esta definición, pudiera considerarse al fruto de *Cyphomandra betacea* (tomate de árbol) como un ingrediente natural, que además cumple con un papel específico en las funciones del cuerpo humano, como puede ser el mejoramiento de los mecanismos de defensa, la prevención o recuperación de alguna enfermedad en particular; el control de las condiciones físicas y mentales y por último el retardo en el proceso de envejecimiento (7). Se plantea como objetivo de esta investigación determinar algunos aspectos de la composición física, química y de compuestos bioactivos del tomate de árbol para promover y diversificar el consumo del fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Muestra. Se empleó un total de 60 frutos maduros (NTC 4150) (8) de tomate de árbol (*C. betacea*) (de coloración roja), adquiridos de un productor local en el Jarillo, Estado Aragua, Venezuela. Se empleó para el estudio el lote completo.

Preparación de la muestra. Los frutos fueron lavados y sumergidos en agua con hipoclorito de sodio 50 ppm/15 min, para su desinfección. Posteriormente fueron escurridos y secados con papel absorbente. Para los análisis físicos de peso, tamaño y fuerza de

compresión, se emplearon los frutos enteros. Posteriormente se retiraron las cáscaras y semillas para la obtención de la pulpa, empleada en la caracterización de humedad y parámetros químicos (°Brix, pH, acidez titulable, proteínas, fibra dietaria, cenizas, minerales y bioaccesibilidad de minerales, pectina compuestos antioxidantes).

Análisis físicos. Los frutos fueron pesados y los parámetros de longitud y ancho medidos con vernier (Digital Calliper, New York, USA), la fuerza de compresión (kg) se midió empleando un equipo texturómetro, T-AXT plus (Stable Micro System, Surrey, UK) con las condiciones: modo de compresión, velocidad de la prueba de 2 mm/seg, distancia de compresión 20 mm, celda de carga 30 kg y geometría de 5 mm (9). La humedad se determinó empleando secado en estufa de vacío (Labconco, Kansas City, MO, USA), a presión de 24 mm Hg / 65 °C hasta alcanzar peso constante (10) (método 940.25).

Análisis químicos

Obtención de la pulpa. Para la determinación del rendimiento en la obtención de pulpa se pesaron los frutos antes de ser pelados. Se procesaron (homogenización licuadora Waring Blender, Winsted, CT, USA) y se calculó el rendimiento considerando los pesos de pulpa y desechos.

Sólidos solubles. Para las determinaciones de sólidos solubles (°Brix) se siguió el procedimiento descrito en la literatura (10) método 932.12 empleando refractómetro (Abbe 60, Madrid, España) a 25°C.

Acidez titulable y pH. Para medir acidez y pH, se hizo una dilución de la pulpa con agua destilada, de acuerdo al procedimiento descrito en (10) (método 942.15) (método 945.10).

Obtención de muestra liofilizada. La pulpa madura fue liofilizada a 0,05 mbars hasta completa deshidratación (liofilizador Labconco, Kansas City, MO, USA) La muestra obtenida se empleó para los análisis de proteínas, fibra dietaria cenizas, minerales, bioaccesibilidad de minerales y pectina. Los resultados de estas determinaciones se reportan en base húmeda de la pulpa madura.

Determinación de proteínas. Las proteínas fueron cuantificadas como nitrógeno empleando el procedimiento microkjeldhal (10) (método 945.18), considerando el factor de 6,25 para calcular las proteínas.

Determinación de fibra dietaria. El análisis de fibra dietaria fue realizada de acuerdo al protocolo des-

crita en (11). Se emplearon las enzimas pepsina (Sigma, 427^u/mg sólido), pancreatina (Sigma, 4xUSP) y α amilasa (Sigma, 29^u/mg sólido no termorresistente), para la fermentación de la muestra y posterior determinación de la fibra insoluble. Posteriormente se prosiguió el proceso de fermentación con amiloglucosidasa (Sigma), diálisis con membranas (MWCO12-14000D, Spectrum Labs.com, Houston, TX, USA) y determinación de la fibra soluble.

Determinación de cenizas, minerales y bioaccesibilidad de minerales. La determinación de cenizas se hizo por incineración de la muestra hasta eliminar compuestos orgánicos (10) (método 985.35) y posterior preparación de solución de minerales para medición empleando emisión atómica (Spectroflame ICP GBC, Melbourne, Australia). La bioaccesibilidad de minerales se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la literatura (12) de simulación de las condiciones fisiológicas *in vitro*, empleando enzimas α -amilasa (Sigma, 29^u/mg sólido no termorresistente), pepsina (Sigma, 427^u/mg sólido), pancreatina (Sigma, 4xUSP) y extracto de bilis porcina (Sigma).

Determinación de pectina. La extracción de pectina se llevó a cabo empleando ácido cítrico (Riedel de Hæn) al 5% por 60 min, caracterizando la misma por titulación, de acuerdo al protocolo reportado en (13).

Determinación de compuestos antioxidantes. Los análisis de compuestos antioxidantes (ácido ascórbico, licopeno, polifenoles, antocianinas, capacidad antioxidante DPPH y poder reductor) fueron realizados en pulpa madura del fruto.

Determinación de ácido ascórbico. El ácido ascórbico fue medido por el método 967.22, AOAC (10) de titulación con 2,6 indofenol (Sigma).

Determinación de licopeno. Para la determinación de licopeno, se siguió el procedimiento descrito en (14). La muestra fue extraída con hexano:acetona:etanol (2:1:1) (de las marcas Merk, Riedel de Hæn y Mallinckrodt). El extracto resultante se filtró al vacío y se leyó la absorbancia (λ 472 nm) de la fase polar que contiene el licopeno empleando la ecuación:

$\text{mg lyc}/100 \text{ g} = (A_{472} \cdot \text{PM licopeno} \cdot V 100) / (E \text{ molar licopeno})$ Donde: E (Absortividad molar) 17,2 x 10⁴ mol cm⁻¹; PM (peso molecular licopeno) = 537 g/mol.

Determinación de polifenoles. Los compuestos polifenoles fueron determinados por el método que emplea el reactivo Folin-Ciocalteu (Merck) (14), utilizando alícuota de la pulpa madura extraída previa-

mente con metanol al 80% acidificado, luego se midió abs a $\lambda=765$ nm, empleando patrón de ácido gálico (Sigma). Se expresa el contenido como equivalentes de ácido gálico (EAG/g).

Determinación de taninos. Los taninos se midieron siguiendo el protocolo descrito en la literatura (14), partiendo de 1 ml de pulpa madura previamente extraída para la determinación de polifenoles, se mezcló con 5 ml HCl (Merk): vainillina (Sigma), luego se midió abs a $\lambda=500$ nm contra una curva patrón de catequina (Sigma), se reportan taninos como mg catequina/100 g.

Determinación de antocianina. Los pigmentos antocianos fueron evaluados siguiendo procedimiento de pH diferencial (14). La medición colorimétrica permite la cuantificación de las antocianinas monoméricas totales como cianidina 3-glucósido por el método de pH

Diferencial utilizado. La absorbancia final se determinó mediante la ecuación:

$$A = (A_1 \text{ vis. max} - A_{700})_{\text{pH } 1,0} - (A_1 \text{ vis. max} - A_{700})_{\text{pH } 4,5}$$

$$\text{Pigmento monomérico antocianina (mg/l)} = (A \times \text{PM} \times \text{FD} \times 1000) / (E)$$

Donde: PM (peso molecular) = 449, 2 g/mol FD = factor dilución, E (absortividad molar) = 26900. A vis max a pH 1 es de 510-540 nm. Se reporta el contenido en mg cianidina/g pulpa.

Determinación de actividad antioxidante por método DPPH. La actividad antioxidante se midió en pulpa madura previamente extraída para la determinación de polifenoles, empleando el método de actividad atrapadora de radicales libres (DPPH) (Sigma) (15), el cual se basa en la reducción de la absorbancia por el anión radical DPPH. por los antioxidantes presentes en la matriz analizada. Se calculó el porcentaje de actividad de radical libre y se halló el valor de EC50 (concentración de pulpa necesaria para atrapar 50% de los radicales libres DPPH expresada en g pulpa/g DPPH), TEC50 y la eficiencia antirradical.

Determinación del poder reductor férrico (PRF). El poder reductor se realizó de acuerdo al procedimiento que emplea FeCl₃ (Merck) y K₃Fe(CN)₆ (Merck) a pH 3,6 (16). Se leyó absorbancia de las muestras a $\lambda=720$ nm. El poder reductor férrico se expresa para cada muestra como la cantidad de Fe que aparece reducido (en mmol de Fe²⁺/100g), empleando los datos de la curva de calibración con FeSO₄ (Riedel

de Häen). Para los métodos colorimétricos se midió la absorbancia en un equipo espectrofotómetro (Genesys 6 Thermo Scientific, USA).

Todas las determinaciones son el resultado de la media desviación estándar de tres réplicas.

RESULTADOS

Los resultados de la caracterización física de los frutos enteros de tomate de árbol, se exhiben en la Tabla 1. Los frutos presentaron un promedio de peso de 81,74 g, fuerza de compresión de 4,32 (Kgf/cm²) así como un rendimiento de pulpa del 74,45%. En la Tabla 2 se presentan los resultados de la caracterización física y química de la pulpa madura del fruto. Se aprecia un aporte de sólidos solubles de 10,51 °Brix y una acidez titulable de 0,20 g/100ml. La humedad de la pulpa fue de 87,72 g/100 g, un contenido de proteínas de 1,78g/100g, carbohidratos disponibles (5,36g/100g), energía (30 Kcal) y fibra dietaria total (4,10 g/100g). El contenido de cenizas fue de 0,88g/100g. En la Tabla 3 se reporta la presencia de compuestos minerales importantes como el fósforo (331,32 mg/100g), calcio (21,25 mg/100g), magnesio (21,18 mg/100g), potasio (17,03 mg/100g) y hierro (7,44 mg/100g) y la bioaccesibilidad del calcio y el hierro, la cual fue de 6,71 % y de 1,86% respectivamente.

Se presentan en la Tabla 4 los datos referentes a la determinación y caracterización de la pectina de la pulpa madura de frutos de tomate de árbol. El valor obtenido de pectina, fue de 1,00 g pectato de calcio/100 g, con un contenido de ácido galacturónico (AUA) de 86,18 g/100g, grado de metoxilo de 11,06g/100g y grado de esterificación (DE) de 71%.

Los resultados de la determinación de compuestos como el ácido ascórbico (23,32 mg/100g), licopeno (1,22 mg/100g), polifenoles (1,39 mg ácido gálico/100g), taninos (0,40 mg catequina/100g), antocianinas (0,29 mg cianidina 3-glucósido/g) así como la capacidad antioxidante (EC₅₀ de 165g /g DPPH, eficiencia antirradical de 1,0x10⁻⁴ y poder reductor de 0,07 mmol Fe/100g), se presentan en la Tabla 5.

DISCUSIÓN

El peso promedio de los frutos analizados está en concordancia con lo reportado en la literatura (9) para frutos de coloración roja (100,11g). Los frutos de

TABLA 1. Caracterización de frutos de tomate de árbol*

Medida	
Peso (g)	81,74 ±18,83
Longitud (mm)	61,12 ± 6,56
Ancho (mm)	48,49 ± 6,95
Fuerza compresión (Kgf/cm ²)	4,32 ± 0,94
Rendimiento (g/100g)	74,45

*Total de frutos analizados 60 unidades

Valores reportados representan el promedio ± la desviación estándar.

TABLA 2. Caracterización física y química de pulpa madura de tomate de árbol. (g/100g)

Parámetro (reportado en peso fresco)	
°Brix (sólidos solubles)	10,51±1,20
pH	3,5
Acidez titulable (g/100ml)	0,20±0,00
Humedad	87,72±0,15
Proteínas	1,78±0,14
Grasa *	0,16
Carbohidratos disponibles **	5,36
Calorías (Kcal)	30
Fibra dietaria total	4,10±0,00
Fibra dietaria insoluble	2,21±0,22
Fibra dietaria soluble	1,89±0,08
Cenizas	0,88±0,01

* Valor teórico reportado (2)

** Calculados por diferencia

Valores reportados representan el promedio ± la desviación estándar.

TABLA 3. Contenido de minerales y bioaccesibilidad de calcio y hierro en pulpa madura de tomate de árbol. (mg/100g)

Parámetro (reportado en peso fresco)	
PO4	331,32±32,62
Ca	21,25±3,63
Mg	21,18±0,81
K	17,03±0,27
Fe	7,44±3,16
Zn	1,53±0,32
Mn	0,11±0,05
Bioaccesibilidad de minerales (dializabilidad /100g)	
Ca	6,71±1,49
Fe	1,86±0,41

Valores reportados representan el promedio ± la desviación estándar.

TABLA 4. Caracterización de la pectina de pulpa madura de tomate de árbol.

Parámetro (reportado sobre peso fresco)	
Pectina (g pectato calcio/100g)	1,00±0,27
Acido galacturónico (AUA)(g/100g)	86,18±0,39
Grado de metoxilo (MeO)(g/100g)	11,06±0,27
Fracción ácida (AUA+MeO)(g/100g)	97,24±0,64
Fracción neutra (100-fracción ácida)(g/100g)	2,76±0,64
Grado esterificación (DE) (%)	71,00± 00

Valores reportados representan el promedio ± la desviación estándar.

TABLA 5. Compuestos bioactivos en pulpa madura de tomate de árbol.

Parámetro (reportado sobre peso fresco)	
Ácido ascórbico (mg /100g)	23,32±0,25
Licopeno (mg/100g)	1,22±0,15
Polifenoles (mg ácido gálico EAG/ g)	1,39±0,09
Taninos (mg catequina/100g)	0,40±0,02
Antocianinas (mg cianidina 3-glucósido/g)	0,29±0,01
Capacidad antioxidante DPPH	
EC ₅₀ (g/g DPPH)	165,00±13,00
T _{EC50} (min)	59,00±5,00
Eficiencia antirradical	1,0x10 ⁻⁴ Baja eficiencia
Poder reductor PRF(mmol Fe ⁺² /100g)	0,07±0,01

Valores reportados representan el promedio ± la desviación estándar.

C. betacea presentan diferentes formas (ovalado, apiculado, esférico, piriforme y elipsoide) y tamaños, por lo que no se puede generalizar en cuanto a estos parámetros. El valor de rendimiento de pulpa obtenido (74,45%) puede ser tomado en consideración para el desarrollo de productos. El mismo está dentro del rango de los reportados en el procesamiento industrial del fruto (83 a 86% en pulpa). El tomate de árbol se puede procesar y comercializar en forma de pulpa congelada. También puede utilizarse para la elaboración de mermeladas, néctares, jugos espesos y conservas con resultados muy satisfactorios (17).

Los valores de sólidos solubles (°Brix), pH y acidez (Tabla 2), están dentro del rango de los reportados en la literatura (8, 9,17). Alimentos con pH menor a 4 son considerados de alta acidez, por lo que el fruto analizado está dentro de esta clasificación. El resultado de la fuerza de compresión (Tabla 1) permite una correlación entre las variables de °Brix, pH y acidez para mantener un criterio constante que se aproxime a la

madurez del consumo del fruto. En la literatura se ha señalado que aún en estado de madurez, los frutos de tomate de árbol pueden soportar cargas de hasta 28 N sin verse afectados físicamente. La respuesta de los productos agrícolas ante la presencia de cargas o esfuerzos es una información importante para desarrollar procesos mecanizados de cosecha, transporte, manejo, control de calidad, requerimientos de empaque, almacenamiento, procesos de transformación y control de daño mecánico (9).

Con los datos suministrados de las pruebas realizadas se concluye que los frutos presentaron características descriptivas (de parámetros físicos) que concuerdan con los resultados publicados en otras investigaciones (2,9).

Se puede considerar a la pulpa madura de tomate de árbol una buena fuente de fibra dietaria (>4 %), siendo importante el contenido de la fracción insoluble con respecto a la soluble (Tabla 2). El método de fibra empleado en esta investigación, permite determinar la fibra dietaria total como una fracción indigerible del alimento que incluye almidón y proteínas resistentes. Actualmente hay una evidencia acumulada de que los polifenoles asociados con polisacáridos y proteínas en las paredes celulares son constituyentes significativos de la fibra dietaria. La presencia de los polifenoles tiene efectos importantes en las propiedades fisicoquímicas de la fibra y determina en gran medida las propiedades fisiológicas de ésta en humanos (11).

En cuanto a los minerales presentes en la pulpa de tomate de árbol (Tabla 3), se observa un alto contenido de fósforo, siendo la relación fósforo:calcio superior a la considerada como ideal (2:1) (18). Así mismo se aprecia la presencia de calcio, magnesio, potasio y hierro. Los métodos *in vitro* para la medición de la bioaccesibilidad de minerales son una alternativa a los ensayos con animales y con humanos. La dializabilidad del calcio ha sido propuesta para predecir su biodisponibilidad, siendo de utilidad para determinar la proporción de calcio soluble y potencialmente absorbible. Entre los métodos *in vitro*, la dializabilidad del hierro ha demostrado ser un buen predictor de la biodisponibilidad (18,19). El resultado obtenido para el hierro (1,86%), puede estar afectado por la presencia de compuestos polifenoles, los cuales se conoce que son ligandos inhibidores del hierro no hemínico. Sin embargo, se han hecho estudios que avalan que la presencia de una cantidad importante de ácido ascórbico pudiera fa-

vorecer que el hierro presente sea mejor absorbido, debido a que este participa en la reducción del hierro férrico a su forma ferrosa y en el mantenimiento de la solubilidad a lo largo del tracto intestinal (20).

Del fruto de tomate de árbol se ha difundido su alto contenido de pectina, pero no se ha encontrado en la literatura consultada, un reporte que indique el porcentaje así como las características químicas de la misma. El valor de pectina determinado en la pulpa madura de tomate de árbol (1,00 g pectato calcio/100g) (Tabla 4), es superior al reportado para harinas de guayaba, pulpas de fresa, frambuesa o manzana las cuales presentan contenidos de pectina de 0,40-0,80; 0,52; 0,36 y 0,47% respectivamente (13). Para que ocurra la gelificación, los niveles de pectina deben encontrarse en por lo menos 0,1-1,0 %. En cuanto a la caracterización química, el contenido de AUA (86,18%) es superior al valor para pectina comercial (65%) (21) y para harina de pulpa de guayaba (64,88%) (13). El grado de metoxilo reportado en esta investigación resultó ser mayor al establecido como referencia para pectinas comerciales (9,56%) y el grado de esterificación (71%) similar al valor comercial (72%). La pectina del tomate de árbol se considera de alto metoxilo ya que el porcentaje de grupos esterificados de los ácidos carboxílicos de los monómeros de los ácidos galacturónicos (expresado como grado de metoxilación) pueden alcanzar hasta 13%, lo que significa esterificación de aproximadamente 80%. Los resultados del grado de metilación para la pectina extraída del tomate de árbol, son similares a lo reportado para pectinas obtenidas a partir de cáscara de *Mangifera indica* (mango) y *Spondia cytherea* (manzana dorada), (clasificadas como de altos grados de metilación 60-78%) (22). Pectinas de alto metoxilo gelifican en presencia de una concentración superior al 55% de sólidos solubles, de los cuales el 60% debe ser sacarosa y dentro de un margen de pH entre 2,0 y 3,5. Las pectinas de alto metoxilo forman geles elásticos y blandos que no son reversibles térmicamente. Las propiedades físicas de las moléculas de pectina la convierten en un ingrediente importante asociado a su función de conferir firmeza, retención de sabor y aroma, aumentar la viscosidad de soluciones, funciona como dispersante y estabilizante de diversas emulsiones de carbohidratos y de proteínas en formulaciones y productos naturales así como en la producción de mermeladas (21).

Los resultados concernientes a la determinación de compuestos bioactivos en pulpa madura de tomate de

árbol se presentan en la Tabla 5. Se observa un contenido de 23 mg ácido ascórbico/100g, el mismo cubre el 38% del valor diario recomendado (VDR), lo cual se puede considerar una buena fuente como lo cita la literatura (18).

En el tomate de árbol se obtuvo un valor de carotenos, como licopeno, de 1,22 mg/100g, similar a lo reportado para el tomate (*Lycopersicon esculentum*) (23).

En relación a los compuestos polifenoles presentes en la pulpa del fruto de tomate de árbol se aprecia un contenido de 1,39 mg EAG/ g, inferior a lo reseñado en la literatura (24). Sin embargo, este valor es comparable al que presentan productos vegetales considerados como compuestos ricos en antioxidantes (cebollas, tomate, zanahoria, salvado de centeno y salvado de trigo, rango entre 0,6-2,5 mg EAG/g) (25). Dentro de los compuestos polifenoles, se reporta un valor de taninos en el orden de 0,40 mg catequina/100 g pulpa, al cual se le atribuye el sabor astringente del fruto. El contenido de antocianinas hallado en este trabajo (0,29 mg/g) es superior al reportado en la literatura (24).

La concentración de antioxidante requerida para reducir en un 50% la concentración inicial de sustrato (EC_{50}) es un parámetro ampliamente usado para medir el poder antioxidante. El valor determinado para la pulpa madura analizada fue de EC_{50} 165 g /g DPPH, el cual es considerado de capacidad antioxidante baja a moderada (15). Al comparar los resultados con la capacidad antioxidante de compuestos como el ácido gálico y el ácido ascórbico (valores entre 0,026 y 0,076 g pulpa/g DPPH respectivamente), se evidencia que un gramo de pulpa madura de tomate de árbol es equivalente al poder antioxidante de 0,16 mg de ácido gálico y 0,46 mg de ácido ascórbico. La actividad antioxidante de *C. betacea* es similar o superior a la del ácido ascórbico y la quercitina y más potente que la del antioxidante butil hidroxil tolueno (BHT). Estudios reportan (1) que la correlación entre actividad antioxidante y compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas, contribuye a la actividad antioxidante más que las antocianinas. Se considera que la capacidad antioxidante asociada a compuestos fenólicos, ácido cítrico y otros compuestos que ligan iones metálicos está asociada a un modo de acción sinérgica, que incluye sequestrantes de oxígeno y agentes quelantes que ligan iones involucrados en la formación de radicales libres (1). De acuerdo al tiempo que se necesita para llegar al estado de equilibrio ($T_{EC_{50}}$) tam-

bién se puede hacer una clasificación cinética de los antioxidantes. En este caso, el TEC₅₀ fue de 59 min, considerado lento, debido que el tiempo > 30 min se ha establecido para compuestos con una cinética lenta (15). Otro parámetro que mide la eficiencia antirradical (EA), involucra la potencia (1/EC₅₀) y el tiempo de reacción (T_{EC50}), siendo que mientras más bajo es EC₅₀ y T_{EC50}, mayor será la EA. De acuerdo a esta clasificación, el tomate de árbol presenta una clasificación de EA lenta.

A pesar de que la actividad antioxidante de los frutos de tomate de árbol se atribuye principalmente a los compuestos fenólicos, puede también deberse a los carotenoides más hidrofílicos (xantofilas), ácidos orgánicos, vitamina C y azúcares reductores que también se extraen con los solventes empleados en la determinación (26).

El resultado del poder reductor (PRF 0,07 mmol Fe²⁺/100g) obtenido en este estudio puede considerarse bajo en relación a lo reportado en otros trabajos (rango entre 1,31 y 1,96 mmol Fe²⁺/100g) (27). Sin embargo, a pesar del valor de PRF obtenido en esta investigación, el resultado de capacidad antioxidante (DPPH) y la presencia de polifenoles, antocianinas y licopeno soportan la importancia que tiene el fruto de *C. betacea* como fuente de compuestos antioxidantes y su papel en la prevención de enfermedades degenerativas como las cardiovasculares.

CONCLUSIONES

El tomate de árbol puede considerarse buena fuente de fibra dietaria y de ácido ascórbico. La caracterización de la pectina resultó ser de alto metoxilo, con grado de esterificación y de metoxilo mayores que las pectinas comerciales. Se evidencia una cantidad significativa de polifenoles, antocianinas y carotenos, que le confieren un potencial antioxidante, lo cual soporta su valor nutricional. Los resultados obtenidos son un aporte al conocimiento acerca de las propiedades físicas y químicas del fruto que permiten diversificar su consumo y empleo como un ingrediente funcional con un potencial en compuestos antioxidantes y la presencia de pectina, de interés en el desarrollo de productos alimenticios.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Fondo Nacional de Ciencia, Tecno-

logía e Innovación (FONACIT) por el financiamiento de esta investigación (Proyecto 2012000668) así como al Lic. Emilio Ineichen por su apoyo en las determinaciones analíticas y a la Lic. Julieta Guinand por su colaboración en la revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

1. Ordoñez RM, Cardozo ML, Zampini IC, Isla MI. Evaluation of antioxidant activity and genotoxicity of alcoholic and aqueous beverages and pomace derived from ripe fruits of *Cyphomandra betaceum* Sendt. *J. Agric Food Chem* 2010; 58:331-3337.
2. Prohens J, Nuez F. The Tamarillo (*Cyphomandra betaceum*). *Small Fruits Review*. Valencia 2005; 1 (2):43-68.
3. Rodríguez-Amaya, DB, Bobbio, PA, Bobbio, FO. Carotenoid composition and vitamin A value of the Brazilian fruit *Cyphomandra betacea*. *Food Chem*; 1983;12(1):61-65.
4. Lister C; Morrison S; Kerkhofs N; Wright K. The nutritional composition and health benefits of New Zealand tamarillos. *Crop & Food Research Confidential Report No. 1281*. Edited by New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited. Christchurch, New Zealand.2005; p 29.
5. Kou MC., Yen JH, Hong JT, Wang ChL, Lin ChW, Wu M.J. *Cyphomandra betacea* Sendt. Phenolics protect LDL from oxidation and PC₁₂ cells from oxidative stress. *LWT. Food Sci and Technol* 2009; 42:458-463.
6. Siró I, Kápolna E, Kápolna B, Lugasi A. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance-a review. *Appetite* 2008; 51:456-467.
7. Liu RH. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *Am J Clin Nutr* 2003; 78:517S-520S.
8. Norma Técnica Colombiana (NTC-4105). Frutas frescas. Tomate de árbol. Especificaciones. Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). 1997. Bogotá. Colombia.
9. Ciro H, Vahos D, Márquez C. Estudio experimental de la fuerza de fractura en frutas tropicales: el tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum* Sendt). *DYNA* 2004; 146: 55-64.
10. AOAC. Official Methods of Analysis 18th Edition. Dr. William Horwitz, Editor Dr. George W. Latimer, Jr., Assistant Editor. Pub AOAC International, Maryland, USA. 2005. Disponible en: <http://www.eoma.aoc.org/>
11. Goñi I, Díaz ME, Pérez-Jiménez J, Saura-Calixto F. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. *Food Res Int* 2009; 42: 840-846.

12. Binaghi MJ, Cagnasso CE, Pellegrino NR, Drago SR, González R, Ronayne PA, Valencia ME. Disponibilidad potencial *in vitro* de hierro y zinc en una dieta infantil con pan fortificado con distintas fuentes de hierro o con agregado de promotores de la absorción. Arch Latinoam Nutr 2011;61(3):316 – 321.
13. Munhoz CL, Sanjinez-Argandona EJ, Soares-Júnior MS. Extração de pectina de goiaba desidratada. Ciência e Tecnol de Alim 2010; 30:119-125.
14. Wrolstad R, Acree T, Decker AA, Penner MH, Reid DS, Schwartz SJ, Shoemaker CF, Smith D, Sporns P. Handbook of Food Analytical Chemistry. Ed. R. Wrolstad et al., John Wiley & Sons, Inc. Section F.F1. 2005; pp:5-107;457-518.
15. Sánchez-Moreno C, Larraruri J, Saura-Calixto F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. J Sci Food Agric 1998; 76:270-276.
16. Valcárcel PB., Basulto YL. El potencial reductor férrico (FRP). Un ensayo para evaluar la capacidad antioxidante en suero. Correo Científico Médico de Holguín 2004;8(4). Disponible en <http://www.cocmed.sld.cu/no84/n84ori4.htm>. Consultado 20-02-2011.
17. Meza N, Manzano MJ. Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceum* [Cav]. Sendt) basadas en la coloración del arilo en la zona andina venezolana. Rev. UDO Agric 2009; 9(2):289-294.
18. García GA. Revisión ingesta de nutrientes: conceptos y recomendaciones internacionales (1ª Parte) Nutr Hosp 2006;21(3):291-299.
19. Wolforg R, Drago SR, Rodríguez V, Pellegrini N, Valencia ME. *In vitro* measurement of iron availability in fortified foods. Food Res Int 2002; 35: 85-90.
20. González U, R. Biodisponibilidad del hierro. Rev Costarric de Salud Pública 2005; 14(26):6-12.
21. FAO. Health (emulsifiers, stabilizers, thickeners and gelling agents in food) regulations. Roma. 2008. Disponible: <http://www.fao.org.com>. Consultado 12-10-2012.
22. Koubala BB, Kansci G, Garnier C, Mbome IL, Duran S, Thibault J-F, Ralet, M-C. Rheological and high gelling properties of mango (*Mangifera indica*) and ambarella (*Spondias cytherea*) peel pectins. Int J Food Sci Technol 2009; 44: 1809-1817
23. Khoo H-E, Prasad N, Kong K-W, Jiang Y, Ismail A. Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. Molecules 2011;16:1710-1738.
24. Sánchez W, Murillo E, Méndez J. Potencial antioxidante de residuos agroindustriales de tres frutas de alto consumo en el Tolima. Sci et Techn 2010; 46:138-143.
25. Muñoz AM, Ramos EF. Componentes fenólicos de la dieta y sus propiedades biomedicinales. Rev Horiz Méd 2007;7(1):3-31.
26. Mertz C, Gancel AL, Gunata Z, Alter P, Dhuique-Mayer C, Vaillant, F, Pérez A M, Ruales J, Brat, P. Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. J Food Comp Anal 2009; 22(5)381-387
27. Stangeland T, Remberg SF, Lye KA. Total antioxidant activity in 35 Ugandan fruits and vegetables. Food Chem 2009; 113:85-91.

Recibido: 19-10-2012

Aceptado: 21-02-2013