Artículo científico

Contenido de antocianinas, vitamina C y actividad antioxidante en siete variedades de frutos de *Morus alba* L.

Content of anthocyanins, vitamin C and antioxidant activity in seven varieties of *Morus alba* L. fruits

Yudit Lugo-Morales[1] *https://orcid.org/0000-0003-0193-1440*, Maykelis Díaz-Solares[1] *https://orcid.org/0000-0001-8149-2948*, Nancy Altunaga-Pérez[1] *https://orcid.org/0000-0001-6888-9246*, Inelvis Castro-Cabrera[2] *https://orcid.org/0000-0002-6914-9175*, Denise Sande-Santos[3] *https://orcid.org/0000-0002-4289-3279*, Jacqueline Aparecida-Takahashi[3] *https://orcid.org/0000-0002-8831-1609*, Leydis Fonte-Carballo[1] *https://orcid.org/0000-0002-2167-4288*

[1]Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas. Central España Republicana. CP 44280. Matanzas, Cuba. [2]Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales y Centro de Biotecnología. Victoria 631, Barrio Universitario, Casilla 160-C. CP 4030000, Chile. [3]Universidad Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, ICEx Instituto de Ciencias Exactas. Avenida Antônio Carlos 6627. CEP 31270-90. Pampulha. Belo Horizonte. Minas Gerais, Brasil. Correo electrónico: yudit.lugo@ihatuey.cu, maykelis@ihatuey.cu, inecastro@udec.cl, sandebiom@gmail.com, dqui@qui.ufmg.br, leydis.fonte@ihatuey.cu

Resumen

Objetivo: Determinar el contenido de antocianinas y de vitamina C, así como la actividad antioxidante de los extractos etanólicos de los frutos de siete variedades de *Morus alba* L.

Materiales y Métodos: Se determinó el contenido de antocianinas y vitamina C a siete variedades de frutos de *Morus alba* L., cultivadas en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, así como la actividad antioxidante de los extractos etanólicos de estas variedades mediante los ensayos de captura del radical fosfomolibdato y la determinación del contenido de fenoles totales. Para el procesamiento de los datos se utilizó un análisis de varianza. Se realizaron correlaciones entre las variables capacidad antioxidante total, fenoles totales, contenido de antocianinas y vitamina C, teniendo en cuenta el coeficiente de correlación de Pearson y dos niveles de significación de 0,01 y 0,05.

Resultados: El contenido de antocianinas, expresado como equivalente de cianidina-3-glucósido, estuvo entre 40,74 y 96,07 mg/100 g, y la vitamina C entre 16,73 y 28,40 mg de ácido ascórbico/100 mL de jugo. Todos los extractos mostraron actividad antioxidante. La capacidad antioxidante total varió entre 175,96 y 229,48 mmol de ácido ascórbico/g de extracto y el contenido de fenoles totales, entre 291,52 y 897,17 mg de ácido gálico/100 g de extracto.

Conclusiones: Los frutos de *M. alba* presentaron elevados contenidos de antocianinas y vitamina C. La variedad Yu-62 mostró las mayores concentraciones de estos compuestos. Los extractos etanólicos dejaron ver elevada actividad antioxidante, lo que está correlacionado con el alto contenido de fenoles totales, antocianinas y vitamina C presentes en los frutos.

Palabras clave: antocianinas, vitamina C, actividad antioxidante, *M. alba*

Abstract

Objective: To determine the content of anthocyanins and vitamin C, as well as the antioxidant activity of the ethanol extracts of the fruits from seven *Morus alba* L. varieties.

Materials and Methods: The content of anthocyanins and vitamin C was determined in seven varieties of *Morus alba* L. fruits, cultivated at the Pastures and Forages Research Station Indio Hatuey, as well as the antioxidant activity of the ethanol of these varieties through the phosphomolybdate radical capture essays and determination of total phenols. For the data processing a variance analysis was used. Correlations were made among the variables total antioxidant capacity, total phenols, content of anthocyanins and vitamin C, taking into consideration Pearson's correlation coefficient and two significance levels of 0,01 and 0,05.

Results: The content of anthocyanins, expressed as equivalent of cyanidin-3-glucoside, was between 40,74 and 96,07 mg/100 g, and vitamin C between 16,73 and 28,40 mg of ascorbic acid/100 mL of juice. All the extracts showed antioxidant activity. The total antioxidant capacity varied between 175,96 and 229,48 mmol of ascorbic acid/g of extract and the content of total phenols, between 291,52 and 897,17 mg of gallic acid/100 g of extract.

Conclusions: The *M. alba* fruits showed high contents of anthocyanins and vitamin C. The variety Yu-62 showed the highest concentrations of these compounds. The ethanol extracts showed high antioxidant activity, which is correlated to the high content of total phenols, anthocyanins and vitamin C present in the fruits.

Keywords: anthocyanins, vitamin C, antioxidant activity, *M. alba*

Recibido: 05 de marzo de 2021
Aceptado: 07 de junio de 2021

Como citar este artículo: Lugo-Morales, Yudit; Díaz-Solares, Maykelis ; Altunaga-Pérez, Nancy; Castro-Cabrera, Inelvis; Santos, Denise Sande; Takahashi, Jacqueline Aparecida & Fonte-Carballo, Leydis. Determinación del contenido de antocianinas, vitamina C y actividad antioxidante en siete variedades de frutos de Morus alba L. *Pastos y Forrajes*. 44:eE18, 2021.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) *https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/* El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Introducción

En la actualidad, la obtención de productos naturales constituye una fuente alternativa de sustancias bioactivas para la industria alimentaria y farmacológica, debido a su eficiencia y bajo costo. Los frutos de *Morus alba* L., presentan metabolitos secundarios y nutrientes fundamentales que estimulan su uso en dietas balanceadas (Gündeşli *et al*., 2019). Entre los metabolitos secundarios, los compuestos fenólicos constituyen el grupo más ampliamente utilizado en la medicina natural (Sánchez-Salcedo *et al*., 2015). Se destacan las antocianinas, que se encuentran acumuladas en las vacuolas de la célula y son responsables del color en frutas y vegetales (Rodrigues *et al*., 2019). Se ha demostrado que el elevado contenido y diversidad de compuestos fenólicos está altamente correlacionado con la capacidad antioxidante (Kobus-Cisowska *et al*., 2020).

La presencia de estos compuestos atribuye a los frutos propiedades antidiabéticas (Nanasombat *et al*., 2019), efecto hipolipidémico (Sirikanchanarod *et al*., 2016) para prevenir la obesidad, antitumoral, de protección contra el daño cerebral y efectos hepaprotectores (Li *et al*., 2016), entre otros de gran importancia para la salud y nutrición animal y humana.

En Cuba, se refieren diversas investigaciones acerca del uso de *M. alba*. En la ganadería, son promisorios los resultados agronómicos de esta especie, sus beneficios en la producción de leche, el control parasitario, la reducción de la producción de metano, entre otros aspectos relacionados con la nutrición de los rumiantes. En la agricultura, los estudios en la ganadería ovina, la porcicultura, cunicultura, avicultura, entre otros, demuestran el alto valor nutricional de *M. alba*, como una opción en la alimentación de estas especies (Peña-Borrego *et al*., 2019). Además, se han informado estudios sobre evaluaciones de metabolitos secundarios en diferentes órganos de esta planta (hojas, tallos y raíces) (Sande *et al*., 2016). Sin embargo, las investigaciones se han dirigido a los órganos de mayor biomasa y productividad, y no hacia los frutos.

El objetivo de este estudio fue determinar el contenido de antocianinas y de vitamina C, así como la actividad antioxidante de los extractos etanólicos de los frutos de siete variedades de *M. alba*.

Materiales y Métodos

Localización. Las muestras de los frutos se recolectaron del banco de germoplasma de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EEPFIH), situada a los 22º 48' y 7'' de latitud norte y 79º 32' y 2'' de longitud oeste, a 19 msnm, en el municipio de Perico, provincia Matanzas, Cuba.

El suelo de esta región corresponde al tipo Ferralítico Rojo lixiviado (Hernández-Jiménez *et al*., 2015). Su topografía es llana, con pendiente de 0,5 a 1,0 %, y tiene una profundidad promedio hasta la roca caliza de 1,50 m.

Las siete variedades de morera (Yu-12, Yu-62, Universidad, Acorazonada, Nueva, Cubana y Universidad mejorada) se sembraron en diciembre de 2012, con densidad de siembra de 0,60 x 1,30 m. Se mantuvo el riego antes y después de la siembra. Se monitoreó cada mes la aparición de plagas y enfermedades. La fertilización se realizó tres veces al año, con fertilizantes basados en N, P y K, a razón de 300, 120 y 300 kg/ha/año, respectivamente. Durante la investigación no se realizó poda a las plantas.

Tratamientos y diseño experimental. Se aplicó un diseño totalmente aleatorizado y se evaluaron siete variedades, que constituyeron los tratamientos.

Procedimiento experimental. Para los ensayos se utilizaron frutos maduros de estas siete variedades. Se recolectaron manualmente, en marzo del 2019 (1 kg), en las primeras horas de la mañana. Se seleccionaron al azar, de plantas que no presentaban signos de enfermedades u otra afectación. Se guardaron en bolsas de polietileno y se trasladaron al laboratorio inmediatamente para su procesamiento.

Para realizar los extractos etanólicos, se realizaron tres extracciones sucesivas. Para ello se pesaron 10 g de fruto fresco de cada variedad, se maceraron con 150 mL de solvente (etanol absoluto) y se incubaron a temperatura ambiente durante 24 h, con agitación manual de forma intermitente. Las mezclas etanólicas se filtraron al vacío y se mantuvieron en reposo, en la oscuridad, por 24 h. Después de la tercera extracción, el filtrado final se concentró hasta la sequedad en un rotoevaporador (modelo IKA®HB10 Basic), a temperatura de 60 °C y velocidad de agitación de 105 rpm. Los extractos obtenidos se almacenaron a -4 °C hasta su utilización.

Cuantificación de antocianinas totales (AT). Se realizó por el método del pH diferencial, descrito por Rapisarda *et al.* (2000) con algunas modificaciones. Se pesaron 10 g de muestra, que se trituraron en el mortero. Se centrifugó durante 15 min. a 5 000 rpm, y temperatura de 15 °C. Se tomaron dos alícuotas de dos mililitros del sobrenadante. Una se diluyó en una disolución tampón de cloruro de potasio (0,025 mol/L pH 1,0) y la otra, en

disolución tampón de ácido acético/acetato de sodio (0,4 mol/L, pH 4,5) en un balón volumétrico de 50 mL. Después de 40 min. de reacción, se determinó la absorbancia a 510 y 700 nm en un espectrofotómetro (modelo Ray Leigh UV-2601). Todos los ensayos se realizaron por triplicado. El resultado se expresó como mg/100 g de cianidina-3-glucósido.

Cuantificación de vitamina C (ácido ascórbico). Se realizó por el método descrito por Ciancaglini *et al*. (2001), con algunas modificaciones. Los frutos se trituraron mecánicamente, se centrifugaron a 8 000 rpm durante 10 min., a temperatura de 20 °C y el sobrenadante se filtró. Se adicionó 1 mL del jugo filtrado en un Erlenmeyer de 250 mL, se adicionó 60 mL de agua destilada, 1 mL de HCl al 15 % y 1 mL de almidón al 1 %. Se valoró con una solución de yodo al 25 mM, previamente estandarizada, hasta obtener cambio de coloración persistente (naranja-azul) durante 30 segundos. Cada mililitro de yodo, 25 mM gastado en la titulación, equivale a 8,806 mg de ácido ascórbico. Cada muestra se realizó por triplicado. El resultado se expresó en milígramos de ácido ascórbico/100 mL de jugo de morera.

Capacidad antioxidante total por el método de captura del radical fosfomolibdato (CAT). El ensayo se basa en la reducción de Mo(VI)-Mo(V) por los extractos y, consecuentemente, en la formación de un complejo verde fosfato/Mo(V) a pH ácido (Umamaheswari y Chatterjee, 2008). La absorbancia de la solución se midió a 695 nm contra un blanco en el espectrofotómetro T70 UV/VIS. Los resultados se expresaron en mmol de ácido ascórbico/g de extracto. Las pruebas se realizaron por triplicado en cada experimento y se informó el resultado como la media ± SD.

Contenido de fenoles totales (FT). La concentración de compuestos fenólicos en las muestras se determinó de acuerdo con el método de Folin-Ciocalteu (Ocampo *et al*., 2014). Se midió la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro T70 UV/VIS. Para la preparación de la curva de calibración se utilizaron soluciones de ácido gálico, con concentraciones entre 25 y 400 µg/mL. Los niveles de compuestos fenólicos se expresaron en equivalentes de ácido gálico mg/100 g del extracto. Las pruebas se realizaron por triplicado en cada experimento y se informó el resultado como la media ± SD.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza para el procesamiento de los datos, después del cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianza (Prueba de *Levene*) y normalidad (*Shapiro Wilk*). La comparación entre medias se hizo mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$). Se realizaron correlaciones para determinar la interrelación entre las variables capacidad antioxidante total, fenoles totales, contenido de antocianinas y vitamina C. Se tuvo en cuenta el coeficiente de correlación de Pearson y dos niveles de significación de 0,01 y 0,05. Todos los análisis mencionados anteriormente se realizaron mediante el paquete estadístico SSPS® Statistics 22.0.

Resultados y Discusión

Cuantificación de antocianinas totales (CAT). El contenido de antocianinas totales (CAT), expresadas como equivalente cianidina-3- glucósido (mg/100 g de extracto), presentó diferencias significativas entre las variedades (fig. 1).

La variedad Yu-62 mostró el mayor contenido de antocianinas (96,07 mg/100 g). Le siguió Universidad mejorada y la Yu-12. Universidad fue la de menor contenido de cianidina-3- glucósido (40,74 mg/100 g).

Estos valores se encuentran en el rango informado por Lee y Hwang (2017), quienes demostraron que el contenido de antocianinas totales, expresado en mg/100 g equivalentes de cianidina-3-glucósido, aumentó de 0 a 2,0 g/100 g a medida que los frutos maduraron. Asimismo, se corresponden con los obtenidos por Jung *et al.* (2019), quienes indican contenido de 75,85 mg/100 g de cianidina-3-glucósido para extractos de frutos de otras variedades de *M. alba*, en Corea. Sin embargo, en la misma especie se informaron valores inferiores a los que se muestran en este estudio.

Aljane y Sdiri (2016) obtuvieron contenido de antocianinas para *M. alba* de 1,35 mg cianidina-3-glucósido/100 g en frutos de morera, cultivados en regiones áridas de Túnez. De igual forma, existen estudios que evidencian contenidos superiores de antocianinas en esta especie. Zhao *et al.* (2018) informaron valores elevados e incremento en el contenido total de antocianinas durante la maduración del fruto de *M. alba* var. cheongil hasta alcanzar 59,16 mg/g de cianidina-3-glucósido (equivalente a 5916,0 mg/100 g). Mientras, el cultivar *M. alba* var. Turkey no tuvo presencia. Ambos cultivares están ubicados en la misma provincia de Corea. En otros trabajos se evidencia la carencia de antocianinas (cianidina-3-glucósido) en frutos de *M. alba*.

Sánchez-Salcedo *et al*. (2015) observaron que las antocianinas totales variaron significativamente entre los clones de *M. nigra*, mientras que *M. alba*

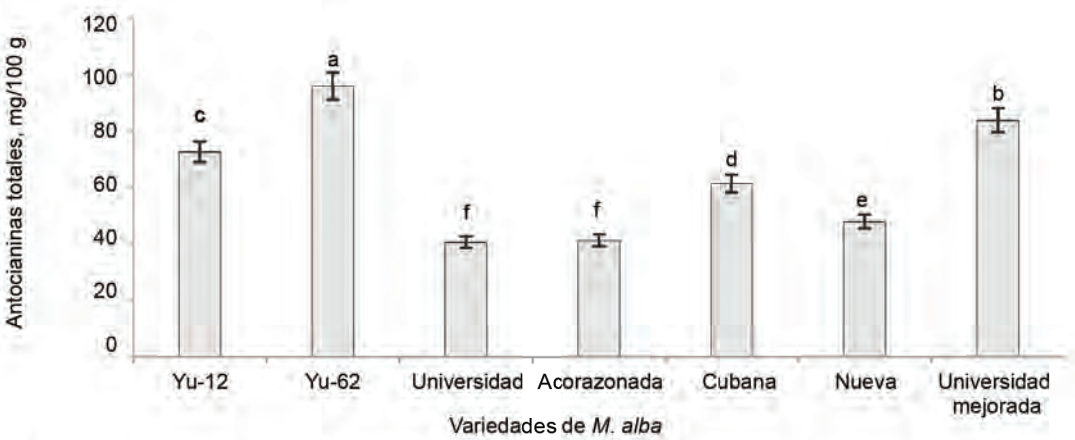


Figura 1. Contenido de antocianinas totales en frutos de *M. alba*
a, b, c, d, e, f: letras diferentes indican diferencias significativas para p < 0,05 según Duncan

no presentó antocianinas. Krishna *et al*. (2020), en un estudio con 10 genotipos de frutos de *M. alba* de la India, observaron que el contenido de cianidina-3-glucósido varió para los genotipos de *M. rubra* y *M. leavigata*. Sin embargo, no se halló en los dos genotipos de *M. alba* estudiados.

La variación en el contenido de antocianinas se puede deber a la diversidad genética que existe entre las variedades. Otros factores que influyen en el contenido de los compuestos fenólicos son el grado de madurez, los métodos analíticos para su determinación y las condiciones de crecimiento, como la temperatura, la humedad y la luz (Natić *et al*., 2015; Sánchez-Salcedo *et al*., 2015).

La presencia de la antocianina (cianidina-3-glucósido) en los frutos de *M. alba* refuerza la importancia de las frutas de *M. alba*, como posible fuente de alimentos funcionales, debido a los diversos efectos biológicos y farmacológicos que presentan. Es evidente que los frutos de *M. alba* constituyen una fuente prometedora de pigmentos y antioxidantes naturales, con potencialidades a considerar para su futura explotación.

Contenido de vitamina C (ácido ascórbico). Las variedades estudiadas mostraron diferencias significativas en los contenidos de vitamina C (fig. 2). Los valores estuvieron entre 16,73 y 28,40 mg de ácido ascórbico/100 mL de jugo. La variedad Yu-62 fue la que presentó mayor contenido. Le siguieron

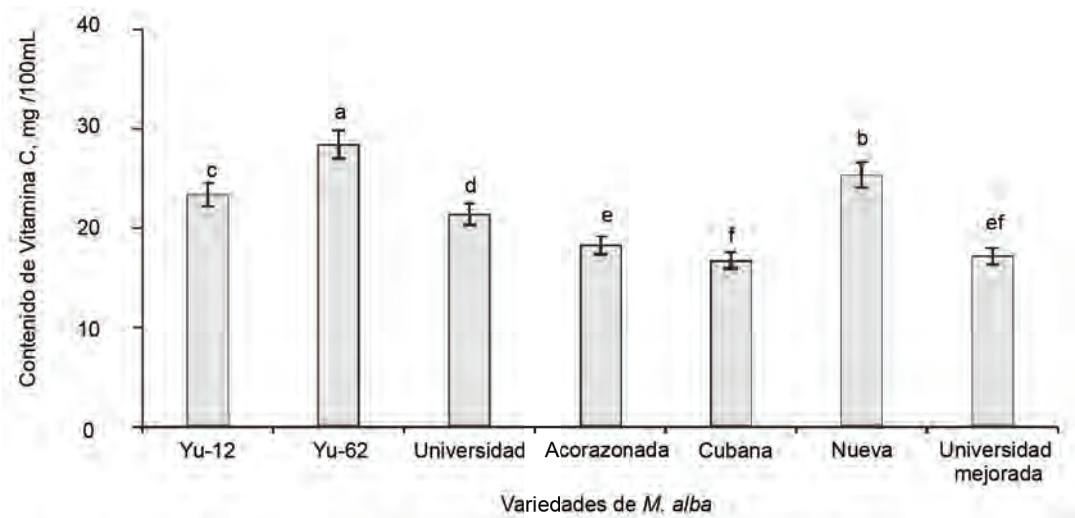


Figura 2. Contenido de vitamina C en frutos de *M. alba* (mg ácido ascórbico/100 mL jugo)
a, b, c, d. e, f: letras diferentes indican diferencias significativas para p < 0,05 según Duncan

Nueva, Yu-12 y Universidad. La Cubana fue la variedad con menor contenido de vitamina C.

Krishna *et al.* (2020) hallaron contenido de vitamina C hasta de 27,10 mg de ácido ascórbico /100 g peso fresco para los frutos de morera en la India. A su vez, se informan contenidos de vitamina C ligeramente inferiores a los de las variedades en estudio. Eyduran *et al.* (2015) analizaron los frutos de *M. alba* y *M. nigra* del Valle de Aras, en Turquía, y refirieron contenido de vitamina C para *M. alba* de 10,12 mg/100 g.

Gecer *et al.* (2016) lograron valores en esta especie de 12,74 mg/100 g en la región de Anatolia Oriental. Sin embargo, Gundogdu *et al.* (2017), en un estudio comparativo realizado entre dos variedades de *M. alba*, procedentes de Turquía y China, encontraron contenido superior de vitamina C hasta 31,34 mg/100 g para el cultivar de China. En trabajos similares en la región este de Anatolia, en Turquía, Gundogdu *et al.* (2018) refirieron que el contenido de vitamina C en cuatro genotipos de *M. alba* varió entre 25,51 y 30,45 mg de ácido ascórbico/100 g de peso fresco, valores que son muy superiores a los de esta investigación.

En función del contenido de vitamina C, las especies de frutas se pueden clasificar en tres grupos (bajo, moderado y alto). Los contenidos de vitamina C obtenidos en esta investigación coinciden con lo referido por Eyduran *et al.* (2015), quienes ubican a las moras entre las especies de frutas con un contenido moderado de vitamina C.

La importancia del ácido ascórbico (vitamina C) se atribuye a sus propiedades como antioxidante hidrosoluble, lo que favorece la actividad enzimática, pues actúa como cofactor en diferentes reacciones y participa en el secuestro de varias formas reactivas del oxígeno y en la reducción de radicales libres. Reduce así las reacciones oxidativas en cadena y prevé daños en los alimentos, además de actuar en sinergia con la vitamina E, y evitar la oxidación lipídica inducida por el radical superóxido (Oroian y Escriche, 2015).

Capacidad antioxidante total. Los valores obtenidos indican que todos los extractos tienen actividad antioxidante. Se observaron diferencias significativas entre las variedades en estudio (figura 3). La CAT mostró valores entre 175,96 y 229,48 mmol de ácido ascórbico/g de extracto. Las variedades Yu-12, Yu-62, Universidad y Nueva mostraron las actividades más elevadas, con valores superiores a la Acorazonada, Universidad mejorada y la Cubana.

La actividad antioxidante total que muestran los frutos se puede deber a la presencia de fitoquímicos (taninos, terpenoides, esteroides, saponinas y flavonoides), así como a sustancias antioxidantes como la vitamina C (Rodrigues *et al*., 2019).

En un estudio de la actividad antioxidante total de extractos de raíces de 11 variedades e híbridos de *M. alba* en Cuba, Sande *et al.* (2016) refieren que el extracto etanólico fue el que mostró mejor actividad antioxidante total en todas las variedades estudiadas. Le siguió el extracto acuoso y, por último, el hexánico. El valor máximo para los extractos etanólicos de raíces, determinado mediante el ensayo de captura de radical fosfomolibdato, fue muy superior al valor máximo de esta actividad para los extractos de frutos en estudio.

Issa y Abd-Aljabar (2013) evaluaron por varios métodos la actividad antioxidante para diferentes

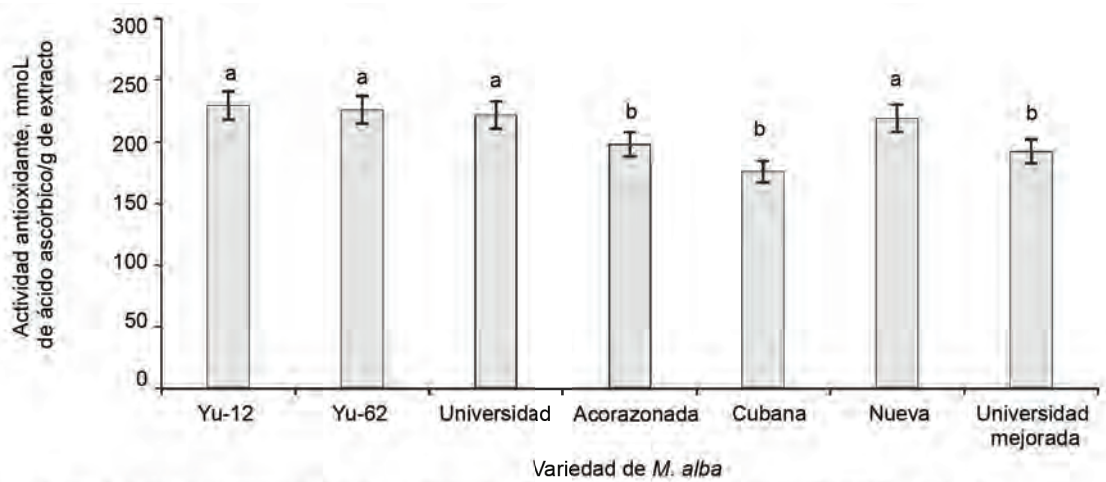


Figura 3. Actividad antioxidante total de extractos etanólicos de frutos de siete variedades de *M. alba*
a, b: letras diferentes indican diferencias significativas para p < 0,05 según Duncan

extractos de fruta de *M. nigra* (etanólicos, flavonoide, antocianina y pigmento aislado). Estos autores informaron que el extracto etanólico de las frutas dejó ver mayor capacidad antioxidante total, evaluada por el ensayo del radical fosfomolibdato, y le siguió el extracto de flavonoide. Plantearon, además, que esta mayor actividad se debe a la presencia de compuestos fenólicos con propiedades redox, que les permiten actuar como agentes reductores, donantes de hidrógeno y eliminadores de oxígeno en estado de singlete.

Diferentes estudios indican también que la capacidad de donar electrones de los compuestos bioactivos está asociada a la actividad antioxidante, lo que contribuye a reducir los intermedios oxidados de los procesos de peroxidación de lípidos, de modo que pueden actuar como antioxidantes primarios y secundarios (Lee *et al*., 2015). En esta investigación, los extractos de las variedades evaluadas demostraron la capacidad de donar electrones. Por lo tanto, podrían actuar como terminadores de la cadena radical, y podrían transformar especies reactivas del oxígeno y otros radicales libres en productos no reactivos más estables.

Contenido de fenoles totales. Los contenidos de FT de los extractos mostraron valores entre 291,52 y 897,17 mg de ácido gálico/100 g de extracto (fig. 4). Las cifras más altas se encontraron en la variedad Yu-62. Le continuaron Universidad, Universidad mejorada, Yu-12, Nueva, acorazonada y Cubana, con diferencias significativas entre ellas.

Los resultados de este estudio resultan similares a los referidos por otros autores. Jin *et al*. (2017) informaron contenidos de fenoles totales (FT) entre 67 y 770 mg de ácido gálico /100 g de peso fresco. En tanto, Farahani *et al*. (2019) refirieron valores entre 134,73 y 922,64 mg de ácido gálico/100 mg de peso fresco. De igual forma, se corresponden con los informados por Natić *et al*. (2015) para otras variedades de morera, cultivadas en el norte de Serbia. En otros trabajos se refieren contenidos de FT inferiores a los de esta investigación. Lou *et al*. (2012) encontraron que el contenido de FT en la fruta de morera varió de 185 a 344 mg de ácido gálico/100 mg de peso fresco. Estos autores afirmaron que, en las frutas con color rojo, los compuestos fenólicos aumentan en las etapas finales de la maduración, lo que se debe a la acumulación de flavonoles y antocianinas.

Sánchez-Salcedo *et al*. (2015) destacaron que las diferencias genéticas, el medio ambiente y las etapas de madurez influyen en los compuestos fenólicos de la fruta y en la síntesis de otros metabolitos secundarios. Además, esta variación puede estar asociada también con los métodos de extracción.

Los fenoles se conocen como los compuestos responsables del aroma y el color de muchas frutas. Esto se debe a que durante el proceso de maduración se acumulan en las vacuolas muchos compuestos secundarios, productos del metabolismo de los fenilpropanoides, entre ellos pigmentos, antocianinas, flavonoides y fenoles. A pesar de las diferencias existentes en los contenidos de fenoles totales de las variedades en estudio, los resultados de esta investigación mostraron que los frutos de morera

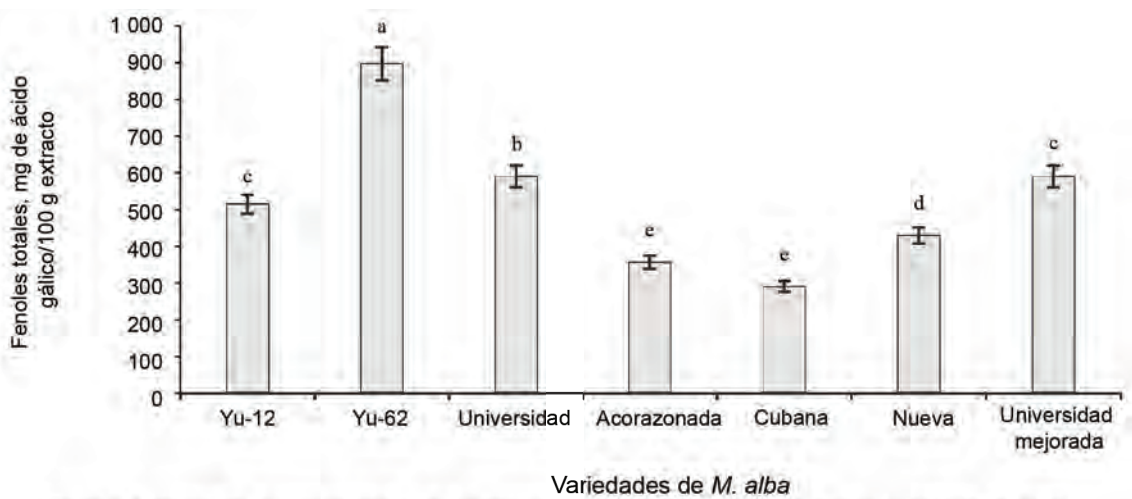


Figura 4. Contenidos de fenoles totales en los extractos etanólicos de frutos de siete variedades de *M. alba*
a, b, c, d, e: letras diferentes indican diferencias significativas para $p < 0,05$ según Duncan

podrían ser una fuente importante de constituyentes fenólicos. La realización de estudios más profundos acerca del perfil fitoquímico de estas variedades sería de gran utilidad, debido a las propiedades beneficiosas que estos componentes aportan a la salud.

La presencia de compuestos fenólicos, incluidas las antocianinas, los flavonoides y los ácidos fenólicos, puede contribuir, en forma y proporción diferentes, a la actividad antioxidante de las frutas. Diversas investigaciones demuestran la existencia de correlaciones altas de estos indicadores (Belwal *et al*., 2019; Rodrigues *et al*., 2019).

Correlación entre la capacidad antioxidante total, contenido de fenoles totales, antocianinas y vitamina C de los extractos etanólicos. Numerosos estudios refieren correlación entre la actividad antioxidante *in vitro* y el contenido de compuestos fenólicos y otras sustancias secuestradoras de radicales libres (Koss *et al*., 2019). Sin embargo, Stinco *et al*. (2015) destacaron que los resultados de muchas variables que se correlacionan pueden variar, ya que depende de varios factores, como el tipo de compuesto, la estructura química, los efectos sinérgicos y las condiciones específicas aplicadas.

Con respecto a ello, se encontró una correlación altamente significativa ($p < 0,01$) y positiva entre los indicadores CAT y FT con un r=0,621 y los fenoles totales (FT) (r=0,621) (tabla 1), así como para la CAT y el contenido de vitamina C (r=0,723).

Krishna *et al*. (2020) encontraron correlación positiva entre el contenido de antocianinas y la capacidad antioxidante medida por CUPRAC (capacidad antioxidante de reducción del ión cúprico) de 0,95 y el FRAP (ensayo del poder reductor férrico) de 0,96. Asimismo, obtuvieron correlación alta y positiva entre el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante (0,88 para CUPRAC y FRAP, respectivamente).

Natić e*t al*. (2015) informaron alta correlación entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante, evaluada mediante el ensayo del poder reductor (PR) y el método de actividad de eliminación del radical anión superóxido (SAS), con correlación de 0,838 y 0,933, respectivamente.

Kobus-Cisowska *et al*. (2020), en un estudio del potencial antioxidante y la composición principal de polifenoles en diferentes extractos de frutos de *M. alba*, refirieron que los extractos de acetona presentaron capacidad alta de eliminación de radicales DPPH$^{\bullet}$ y correlación positiva entre el efecto antioxidante DPPH$^{\bullet}$ y los flavonoides totales (r=0,63), rutina (r=0,69) y ácido ferúlico (r=0,78). Estos autores afirman que la actividad antioxidante de los polifenoles confiere propiedades redox, debido a la capacidad de estos compuestos de donar átomos de hidrógeno (agentes reductores) en las reacciones de oxidación-reducción. En consecuencia, pueden actuar como constituyentes de quelatos metálicos o pueden eliminar los radicales libres (Zhang *et al*., 2018).

En otras especies del mismo género también se informa la existencia de correlaciones positivas entre la actividad antioxidante y el contenido de flavonoides y compuestos fenólicos. Hosseini *et al*. (2018) encontraron en el estudio realizado con frutos de *M. nigra* L. correlación positiva entre el contenido de flavonoides y los compuestos fenólicos (r=0,94). Además, la actividad antioxidante mostró correlaciones positivas con el contenido de compuestos fenólicos (r=0,80) y el contenido de flavonoides (r=0,80).

Entre los compuestos polifenólicos, los ácidos fenólicos constituyen fitoquímicos con marcada influencia en la capacidad antioxidante de las frutas y verduras. Estos ácidos actúan como inhibidores de la generación de radicales libres, pues son capaces de aumentar la actividad catalítica de las enzimas endógenas que participan en la neutralización de los radicales libres (Jin *et al*., 2017).

Según los resultados de esta investigación, las variedades de *M. alba* no mostraron comportamiento similar de actividad antioxidante, según los métodos evaluados. Este aspecto se puede atribuir a que cada componente fenólico puede contribuir, en forma y proporción diferentes, a la actividad antioxidante, y a

Tabla 1. Matriz de correlación entre la capacidad antioxidante total (CAT), el contenido de fenoles totales (FT), antocianinas y vitamina C de los extractos etanólicos de frutos de *M. alba*.

Indicador	CAT	FT	Antocianinas	Vitamina C
CAT	-			
FT	0,621**	-		
Antocianinas	0,231	0,436	-	
Vitamina C	0,723**	0,523	0,289	-

** $p < 0,01$

que la correlación no solo depende de la concentración y la calidad antioxidante, sino de su interacción con otros metabolitos presentes en los extractos. Sin embargo, se demuestra correlación positiva entre los indicadores en estudio y la marcada actividad antioxidante que se observó en todas las variedades, debido al elevado contenido de antocianina (cianidina-3-glucósido) y vitamina C, así como de otros metabolitos secundarios.

La actividad antioxidante es la principal línea de defensa contra los radicales libres, formados producto del metabolismo celular. Los compuestos antioxidantes presentes en los frutos de *M. alba* pueden neutralizar estos radicales libres, por lo que resultan beneficiosos para la salud humana y animal. Las variedades estudiadas aportan formas nuevas de antioxidantes naturales en alimentos funcionales y nutracéuticos.

Conclusiones

Los frutos de *M. alba* presentan elevados contenidos de antocianinas y vitamina C. La variedad Yu-62 tuvo las mayores concentraciones de estos compuestos.

Los extractos etanólicos presentaron elevada actividad antioxidante, lo cual está fuertemente correlacionado con el alto contenido de fenoles totales, de antocianinas y de vitamina C presentes en los frutos, por lo que constituyen un producto natural beneficioso, que se puede incorporar a cualquier tipo de dieta.

Agradecimientos

Se agradece al Fondo Financiero de Ciencia e Innovación (FONCI) por el financiamiento del proyecto «Desarrollo de nuevas tecnologías para el uso de la morera en los sistemas agropecuarios de Cuba» (2019-2023).

Se expresa gratitud hacia la Universidad Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, ICEx Instituto de Ciencias Exactas y a la Coordinación para el Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior (CAPES) de Brasil por el financiamiento del proyecto CAPES / MES-CUBA PROJETOS 158/12 del Edital No. 037/2012.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

Contribución de los autores

- Yudit Lugo-Morales. Ejecución de los experimentos, procesamiento de datos, redacción y arreglos del manuscrito.
- Maykelis Díaz-Solares. Diseño de la investigación, selección de los protocolos a trabajar y revisión del manuscrito.
- Nancy Altunaga-Pérez. Ejecución y estandarización de los protocolos de investigación.
- Inelvis Castro-Cabrera. Estandarización de los protocolos utilizados y análisis de los datos.
- Denise Sande-Santos. Ejecución y estandarización de los protocolos de investigación.
- Jacqueline Aparecida-Takahashi: Ejecución, estandarización de los protocolos de investigación y análisis de los datos.
- Leydis Fonte-Carballo: Ejecución de los protocolos y análisis de los datos.

Referencias bibliográficas

Aljane, F. & Sdiri, N. Morphological, phytochemical and antioxidant characteristics of white (*Morus alba* L.), red (*Morus rubra* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits grown in arid regions of Tunisia. *J. New Sci*. 35 (1):1940-1947. https://www.jnsciences.org/agri-biotech/51-volume-35/268-morphological,-phytochemical-and-antioxidant-characteristics-of-white-morus-alba-l-,-red-morus-rubra-l-and-black-morus-nigra-l-mulberry-fruits-grown-in-arid-regions-of-tunisia.html, 2016.

Belwal, T.; Pandey, A.; Bhatt, I. D.; Rawal, R. S. & Luo, Z. Trends of polyphenolics and anthocyanins accumulation along ripening stages of wild edible fruits of Indian Himalayan region. *Sci. Rep.* 9:5894, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-42270-2.

Ciancaglini, P.; Santos, Hérica L.; Daghastanli, Katia R. P. & Thedei Jr., G. Using a classical method of vitamin C quantification as a tool for discussion of its role in the body. *Biochem. Mol. Biol. Educ.* 29 (3):110-114, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S1470-8175(01)00039-X.

Eyduran, S. P.; Ercisli, S.; Akin, M.; Beyhan, O.; Gecer, M. K. & Eyduran, E. Organic acids, sugars, vitamin C, antioxidant capacity, and phenolic compounds in fruits of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry genotypes. *J. Appl. Bot. Food Qual*. 88:134-138, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.5073/jabfq.2015.08.

Farahani, Maryam; Salehi-Arjmand, H.; Khadivi, A. & Akramian, M. Chemical characterization and antioxidant activities of *Morus alba* var. nigra fruits. *Sci. Hortic-Amsterdam*. 253:120-127, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.040.

Gecer, M. K.; Akin, M.; Gundogdu, M.; Eyduran, S. P.; Ercisli, S. & Eyduran, E. Organic acids, sugars, phenolic compounds, and some horticultural characteristics of black and white mulberry accessions from Eastern Anatolia. *Can. J. Plant Sci*. 96 (1):27-33, 2015. DOI: https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0070.

Gündeşli, M. A.; Korkmaz, N. & Okatan, V. Polyphenol content and antioxidant capacity of berries: A review. *Int. J. Agric. For. Life Sci.* 3 (2):350-361. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/874337, 2019.

Gundogdu, M.; Canan, I.; Gecer, M. K.; Kan, T. & Ercisli, S. Phenolic compounds, bioactive content and antioxidant capacity of the fruits of mulberry (*Morus* spp.) germplasm in Turkey. *Folia Hortic.* 29 (2):251-262, 2017. DOI: https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0023.

Gundogdu, M.; Tunçtürk, M.; Berk, Selma; Şekeroğlu, N. & Gezic, S. Antioxidant capacity and bioactive contents of mulberry species from Eastern Anatolia region of Turkey. *Indian J. Pharm. Educ.* 52 (4):s96-s101, 2018. DOI: https://doi.org/10.5530/IJPER.52.4S.82.

Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015.* Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015.

Hosseini, A. S.; Akramian, M.; Khadivi, A. & Salehi-Arjmand, H. Phenotypic and chemical variation of black mulberry (*Morus nigra*) genotypes. *Ind. Crop Prod.* 117:260-271, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.007.

Issa, N. K. & Abd-Aljabar, R. S. Evaluation of antioxidant properties of *Morus nigra* L. fruit extracts (II). *Jordan J. Biol. Sci.* 6 (4):258-265. http://jjbs.hu.edu.jo/files/v6n4/Paper%20Number%203m.pdf, 2013.

Jin, Q.; Yang, J.; Ma, L.; Wen, D.; Chen, F. & Li, J. Identification of polyphenols in mulberry (genus *Morus*) cultivars by liquid chromatography with time-of-flight mass spectrometer. *J. Food Compos. Anal.* 63:55-64, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.005.

Jung, S.; Lee, M.-S.; Choi, A.-J.; Kim, C.-T. & Kim, Y. Anti-Inflammatory effects of high hydrostatic pressure extract of mulberry (*Morus alba*) fruit on LPS-stimulated RAW264.7 cells. *Molecules.* 24 (7):1425, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules24071425.

Kobus-Cisowska, Joanna; Szczepaniak, O.; Szymanowska-Powałowska, Daria; Piechocka, Justyna; Szulc, P. & Dziedziński, M. Antioxidant potential of various solvent extract from *Morus alba* fruits and its major polyphenols composition. *Ciênc. Rural.* 50 (1), 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190371.

Koss-Mikołajczyk, Izabela; Kusznierewicz, Barbara & Bartoszek, Agnieszka. The relationship between phytochemical composition and biological activities of differently pigmented varieties of Berry fruits; comparison between embedded in food matrix and isolated anthocyanins. *Foods.* 8 (12): 646, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/foods8120646.

Krishna, H.; Singh, D.; Singh, R. S.; Kumar, L.; Sharma, B. D. & Saroj, P. L. Morphological and antioxidant characteristics of mulberry (*Morus* spp.) genotypes. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 19 (2):136-145, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.08.002.

Lee, Y. & Hwang, K. T. Change in physicochemical properties of mulberry fruit (*Morus alba*) during ripening. *Sci. Hortic.-Amsterdam.* 217:189-196, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.042.

Lee, Y. C.; Lee, J. H.; Kim, S. D.; Chang, M. S.; Jo, I. S.; Kim, S. J. *et al.* Chemical composition, functional constituents, and antioxidant activities of berry fruits produced in Korea. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 44:1295-1303, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2015.44.9.1295.

Li, F.; Chen, G. & Fu, X. Comparison of effect of gear juicer and colloid mill on microstructure, polyphenols profile, and bioactivities of mulberry (*Morus indica* L.). *Food Bioprocess Technol.* 9:1233-1245, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s11947-016-1715-0.

Lou, H.; Hu, Y.; Zhang, L.; Sun, P. & Lu, H. Nondestructive evaluation of the changes of total flavonoid, total phenols, ABTS and DPPH radical scavenging activities, and sugars during mulberry (*Morus alba* L.) fruit development by chlorophyll fluorescence and RGB intensity values. *Food Sci. Technol-Leb.* 47 (1):19-24, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.008.

Nanasombat, S.; Yansodthee, K. & Jongjaited, I. Evaluation of antidiabetic, antioxidant and other phytochemical properties of Thai fruits, vegetables and some local food plants. *Walailak J. Sci. Technol.* 16 (11):851-866, 2019. DOI: https://doi.org/10.48048/wjst.2019.3731.

Natić, Maja M.; Dabić, Dragana Č.; Papetti, Adele; Fotirić-Akšić, Milica M.; Ognjanov, V.; Ljubojević, Mirjana *et al.* Analysis and characterisation of phytochemicals in mulberry (*Morus alba* L.) fruits grown in Vojvodina, North Serbia. *Food Chem.* 171:128-136, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.101.

Ocampo, Diana M.; Valverde, Claudia L.; Colmenares, Ana J. & Isaza, J. H. Fenoles totales y actividad antioxidante en hojas de dos especies colombianas del género *Meriania* (melastomataceae). *Rev. Colomb. Quim.* 43 (2):41-46, 2014. DOI: https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v43n2.53124.

Oroian, Mircea & Escriche, Isabel. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Res. Int.* 74:10-36, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018.

Peña-Borrego, Maida D.; Fermoselle-Cumbá, Diannelis; Peña-Rueda, Y. F. & Bécquer-Granados, C. Análisis bibliométrico acerca de las investigaciones

publicadas sobre *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*. 42 (1):81-87. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942019000100081&lng=es&tlng=es, 2019.

Rapisarda, P.; Fanella, F. & Maccarone, E. Reliability of analytical methods for determining anthocyanins in blood orange juices. *J. Agric. Food Chem*. 48 (6):2249-2252, 2000 DOI: https://doi.org/10.1021/jf991157h.

Rodrigues, Elisana L.; Marcelino, Gabriela; Torres-Silva, Gabriela; Silva-Figueiredo, Priscila; Silva-Garcez, W.; Corsino, J. *et al*. Nutraceutical and medicinal potential of the *Morus* species in metabolic dysfunctions. *Int. J. Mol. Sci*. 20 (2):301, 2019. DOI: http://doi.org/10.3390/ijms20020301.

Sánchez-Salcedo, Eva M.; Mena, P.; García-Viguera, Cristina; Martínez, J. J. & Hernández, Francisca. Phytochemical evaluation of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits, a starting point for the assessment of their beneficial properties. *J. Funct. Foods*. 12:399-408, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.010.

Sande, Denise; Díaz-Solares, Maykelis; Milián-Rodríguez, Y. E.; Castro-Cabrera, Inelvis; Fonte-Carballo, Leydi; Altunaga-Pérez, Nancy *et al*. Roots from mulberries (*Morus alba*) natural and hybrids varieties: phenolic contend and nutraceutical potential as antioxidant. *J. Appl. Pharm. Sci*. 6 (11):63-69, 2016. DOI: https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.601110.

Sirikanchanarod, A.; Bumrungpert, A.; Kaewruang, W.; Senawong, T. & Pavadhgul, P. The effect of mulberry fruits consumption on lipid profiles in hypercholesterolemic subjects: A randomized controlled trial. *J. Pharm. Nutr. Sci*. 60:7-14, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.6000/1927-5951.2016.06.01.2.

Stinco, Carla M.; Baroni, María V.; Naranjo, Romina D. Di P.; Wunderlin, D. A.; Heredia, F. J.; Meléndez-Martínez, A. J. *et al*. Hydrophilic antioxidant compounds in orange juice from different fruit cultivars: Composition and antioxidant activity evaluated by chemical and cellular based (*Saccharomyces cerevisiae*) assays. *J. Food Compos. Anal*. 37:1-10, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.09.006.

Umamaheswari, M. & Chatterjee, T. K. *In vitro* antioxidant activities of the fractions of *Coccinnia grandis* L. leaf extract. *Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med*. 5 (1):61-73. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2816591/, 2008.

Zhang, H.; Ma, Z. F.; Luo, X. & Li, X. Effects of mulberry fruit (*Morus alba* L.) consumption on health outcomes: a mini-review. *Antioxidants, Basel*. 7 (5):69, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/antiox7050069.

Zhao, S.; Park, C. H.; Yang, J.; Yeo, H. J.; Kim, T. J.; Kim, J. K. *et al*. Molecular characterization of anthocyanin and betulinic acid biosynthesis in red and white mulberry fruits using high-throughput sequencing. *Food Chem*. 279:364-372, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.101.