

La mora tropical de altura (*Rubus adenotrichos* Schltdl.) como potencial alimento funcional: una mirada a las investigaciones realizadas

The tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichos* Schltdl.) as a potential functional food: a look at the research carried out

Alexander Schmidt-Durán

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

aschmidt@itcr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-1061-6840>

Mario Rodríguez-Monroy

Instituto Politécnico Nacional, México

mrmonroy@ipn.mx

 <https://orcid.org/0000-0001-6201-7594>

Oscar Acosta-Montoya

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

oscar.acosta@ucr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0001-8156-6556>

Recepción: 09 Febrero 2023

Aprobación: 18 Junio 2023



Acceso abierto diamante

Resumen

La mora (*Rubus adenotrichos* Schltdl.) ha sido catalogada como una de las frutas con alto potencial como alimento funcional, especialmente por su concentración de elagitaninos y antocianinas. Por esta razón, el objetivo de este trabajo fue hacer una revisión narrativa con los artículos científicos realizados con esta especie, desde los trabajos agronómicos y de cultivos de tejidos, los análisis de los compuestos en la fruta y en el procesamiento del jugo, el potencial benéfico para la salud de esta fruta en pruebas realizadas tanto in vitro como in vivo así como la posibilidad que las herramientas biotecnológicas permiten para escalar la producción de estos compuestos, compilando en las mismas unidades de medición, la concentración de los principales compuestos bioactivos de la mora.

Palabras clave: *Rubus adenotrichos*, mora, polifenoles, antioxidantes, capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno.

Abstract

Blackberry (*Rubus adenotrichos* Schltdl.) has been classified as a fruit with high potential as a functional food, due to its high concentration of ellagitannins and anthocyanins. Therefore, the aim of this study is to compile the research articles performed with these species, from agronomical to tissue culture studies, to analysis of fruit compounds and fruit juice processing; and the potential health benefits from this fruit in studies performed in vitro and in vivo, as well as the possibility of using biotechnological tools for bioprocessing and upscaling the production of compounds of interest, compiling, in the same units of measure, the concentration of the main bioactive blackberry compounds.

Keywords: *Rubus adenotrichos*, blackberry, polyphenols, antioxidants, oxygen radical absorbance capacity.

Introducción

Las moras pertenecen al género *Rubus*, se caracterizan por tener un crecimiento arbustivo de tipo erecto, semierecto o rastrero [1][2]. La planta se reproduce principalmente de forma asexual por medio de acodos y presenta en su ciclo de cultivo tres etapas: vegetativa, reproductiva y de producción [1]. Los tallos de la planta de mora generalmente poseen espinas y tienen un sistema radical fibroso, los cuales crecen en forma de macolla [2]. Las hojas tienen bordes dentados y presentan de tres a cinco folíolos [1][2]. Presenta frutas agregadas que pueden ser de color rojas o moradas oscuras, formadas por drupas carnosas de forma redonda o elipsoidal, las cuales contienen a las semillas [1][3]. Las flores son hermafroditas y actinomorfas, contienen varios estambres y pistilos, crecen en inflorescencias terminales o axiales, de color blanco, rosado o morado. Las flores tienen cinco pétalos y cinco sépalos y su polinización se realiza por insectos, especialmente abejas (*Apis mellifera* L.) [1][2].

Las frutas de la mora se consumen de manera fresca o procesada, a través de la producción de productos congelados, enlatados, pulpas, jugos y frutas liofilizadas [3]. La producción de mora a nivel mundial se ha expandido drásticamente, siendo Estados Unidos el mayor productor mundial, mientras que, en Europa, Serbia es el principal país que lo cultiva. En latinoamericana se cultiva principalmente en México y América Central, donde sobresalen Costa Rica y Guatemala, y en menor medida se encuentran Ecuador y Chile. En Asia, China es su principal productor, mientras que Nueva Zelanda destaca en Oceanía y en África solo se tiene reportes de producción por parte de Sudáfrica [3][4][5].

Las investigaciones en *Rubus* han aumentado significativamente en los últimos años, ya que además de su valor nutricional, presenta una alta capacidad antioxidante debido a su contenido de polifenoles, los cuales presentan un potencial beneficio a la salud, como se detalla en la revisión de Lee et al. [6]. *Rubus adenotrichos* es una especie de mora que crece en un clima tropical de altura y ha sido estudiada desde hace más de 30 años, aunque más intensamente en los últimos 15 años por sus compuestos de interés, especialmente elagitaninos y antocianinas. Es por esta razón, que el objetivo de este trabajo fue compilar, hasta nuestro saber, los trabajos realizados en *R. adenotrichos* (mencionada en algunos artículos como *R. adenotrichus*), detallando la concentración de polifenoles totales, elagitaninos, antocianinas y capacidad antioxidante obtenidos en las investigaciones. Para esto, se realizó una revisión de literatura de tipo narrativa, consultando las bases de datos Web of Science, Scopus, Springer, SciELO, Google Scholar, DOAJ, así como libros impresos. Se encontraron tres libros impresos y 39 artículos científicos, de los cuales, debido a su objeto de estudio, se descartaron las publicaciones realizadas por González y Perez [7], Rodríguez-Díaz et al. [8] y Segura et al. [9] para este artículo.

Investigaciones en *Rubus adenotrichos*

Primeras investigaciones

Desde mediados de los años 90, se han realizado investigaciones en Costa Rica relacionadas con el cultivo de la mora (*Rubus* spp), especialmente con *Rubus adenotrichos* variedad Vino espina roja, según su denominación local, debido a su interés comercial y potencial uso medicinal y alimenticio que posee [1][2]. Inicialmente los trabajos se centraron en la caracterización fenotípica, diseños de siembra, distancias de siembra, fertilización, podas, problemas fitosanitarios [1][2], conservación de germoplasma, micropropagación, elaboración de productos agroindustriales [10], enraizamiento [10][11][12] y aclimatación de plantas [10][11].

En las investigaciones agronómicas, Orozco et al. [13] evaluaron el efecto del sistema de propagación en el rendimiento de la cosecha de la mora en las variedades Vino espina roja y Vino sin espinas. Para esto, utilizaron

un sistema de propagación vegetativa, a través de una reproducción asexual por acodos aéreos y un sistema de micropropagación, a través de plántulas obtenidas in vitro y aclimatadas en invernadero antes de ser sembradas en campo. Los investigadores evidenciaron que los rendimientos de la variedad Vino espina roja son de tres a cuatro veces superiores a los obtenidos por la variedad Vino sin espinas. Además, en el primer año de evaluación, las plantas propagadas por acodos obtuvieron cosecha, mientras que las micropropagadas no. Sin embargo, a partir del segundo año de evaluación, los rendimientos de ambos tipos de reproducción fueron similares para ambas variedades. Las plantas in vitro generalmente requieren de un mayor tiempo para adaptarse en campo, sin embargo, tomando en cuenta que son plantas élite libre de enfermedades, es una alternativa viable de implementar para el agricultor.

También, Orozco y Muñoz [14] determinaron el efecto del compost y lombricompost sobre el suelo y los rendimientos de la mora, logrando determinar que los abonos orgánicos mejoraron especialmente el contenido de micronutrientes y el pH del suelo en las fincas evaluadas, lo cual condujo a obtener un mayor rendimiento de cosecha. Además, se logró determinar que los abonos utilizados no afectaron las cadenas tróficas, ni los microorganismos presentes en el suelo [15]. Los abonos orgánicos, además de su aporte de nutrientes y de mejorar la estructura del suelo, aportan microorganismos benéficos a la rizosfera, siendo esperable un aumento en las poblaciones microbianas. Sin embargo, este efecto no fue posible visualizarlo en esa investigación.

Por otro lado, Flores et al. [11] reportaron para la multiplicación de la planta de mora, un método de enraizamiento en sistemas de inmersión temporal y de aclimatación de las plántulas en invernadero. La implementación de dicha metodología logró reducir en un 50% el tiempo de la etapa de enraizamiento comparado a estudios previos y permitió alcanzar más de un 75% de supervivencia de las plantas durante su aclimatación en invernadero. Flores et al. [12], trabajando con la misma línea celular de mora, también probaron el efecto de nanotubos de carbono como promotores del crecimiento de la planta y su efecto en el enraizamiento. Sus resultados demostraron que los nanotubos de carbono de pared simple funcionalizados con un grupo carboxilo, aumentaron el tamaño de las plantas, promovieron una mayor cantidad de raíces en un menor tiempo, y presentaron una mayor diferenciación celular en los tejidos de crecimiento, evidenciando que los nanotubos de carbono pueden ser usados como promotores del crecimiento vegetal para la mora.

El uso de nanotubos de carbono en las investigaciones, especialmente con cultivos de consumo humano, genera controversia, ya que hay reportes de los efectos adversos para la salud [16]. La investigación realizada por [12] se limita a su uso bajo condiciones de laboratorio, por lo que se requiere de futuras investigaciones que permitan clarificar si éstos pueden ser encontrados en la fruta, si son retenidos por la planta en algún tejido u órgano, o son desechados bajo algún mecanismo, con el fin de ver si el uso de los nanotubos de carbono puede ser una estrategia viable para usarse en la micropropagación de las plantas de mora para consumo humano.

A pesar de que las primeras investigaciones tuvieron un énfasis más agronómico y de producción in vitro, los trabajos de Mertz et al. [17] y Acosta-Montoya et al. [18], los cuales reportaron el contenido de polifenoles totales, elagitaninos y antocianinas presentes en la fruta, provocaron un cambio en la perspectiva de los trabajos realizados para esta planta.

Compuestos polifenólicos de la fruta

Como se mencionó, la mora ha sido catalogada como una fruta rica en polifenoles con capacidad antioxidante, los cuales tienen posibles efectos benéficos para la salud humana [6]. Por esta razón, el trabajo de Mertz et al. [17] fue el primero que reportó el contenido de metabolitos secundarios para la mora tropical de altura. Los autores realizaron un estudio en frutas maduras de dos especies de mora (*Rubus glaucus* y *Rubus adenotrichos*), cuantificando la concentración de diferentes compuestos de interés: taninos hidrolizables, antocianinas, ácidos hidroxicinámicos y flavonoides (cuadro 1). Los autores realizaron la extracción de 2 g de la fruta liofilizada con 60 ml de una solución de acetona (70% v/v) como solvente extractor con 2% de ácido fórmico. El análisis fue realizado mediante cromatografía líquida de alta eficiencia con detección mediante

arreglo de diodos (HPLC-DAD) y espectrofotometría de masas con trampa de iones por electropulverización (ES/MS IT), en donde se determinó que *R. adenotrichos* presenta valores de flavonoides, la antocianina cianidina-3-glucósido y el elagitanino Lambertianin C en mayor proporción que *R. glaucus*.

La metodología descrita por [17] fue la base para la extracción y cuantificación de antocianinas y elagitaninos realizadas en otras investigaciones [18][19][20][21][22][23]. Sin embargo, no hubo un estudio sistemático para la estandarización de las condiciones de extracción y solventes a utilizar, que permita determinar estadísticamente las condiciones de extracción más adecuadas para la obtención de los biocompuestos. Múltiples factores intervienen en la recuperación de los compuestos bioactivos, tales como el solvente a utilizar, la fuente del material a extraer y la metodología de extracción [24][25][26]. Por ejemplo, el agua, el etanol y sus mezclas, son los solventes extractores más utilizados por su baja toxicidad; mientras que el metanol es donde se ha obtenido la mayor recuperación de taninos [27]. Por lo que resulta particular que, el método de extracción utilizado por muchos de los artículos en esta especie, no haya contemplado una optimización de estas condiciones y se limitaran a utilizar la misma metodología de [17].

Mertz et al. [19], determinaron el contenido de polifenoles totales, carotenoides y capacidad antioxidante de dos variedades de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) y mora (*R. adenotrichos* y *R. glaucus*) mediante pruebas espectrofotométricas (Folin-Ciocalteu y ORAC) y HPLC-DAD-MS. Se logró determinar que el contenido de polifenoles totales, así como la concentración de elagitaninos y antocianinas fue mayor en la mora, que en las dos variedades de tomate de árbol evaluadas. Los autores probaron diferentes solventes para evaluar la capacidad antioxidante, determinando que la acetona presentaba los valores más altos (cuadro 1). Sin embargo, los autores no evaluaron otros solventes más polares como el etanol o el metanol.

Debido al potencial que se observaba en la mora, Acosta-Montoya et al. [18] investigaron el efecto del estado de madurez en el contenido polifenólico y en su capacidad antioxidante. Los autores concluyeron que, al aumentar el estado de madurez (grado 3), aumenta la cantidad de azúcares, sólidos solubles y antocianinas en la fruta, pero disminuye la concentración de elagitaninos, flavonoides y derivados del ácido elágico. Sin embargo, en su estado más inmaduro (grado 1), la mora contiene una alta concentración de elagitaninos, como se observa en el cuadro 1. Los investigadores concluyeron que *R. adenotrichos* presenta una de las mayores cantidades de elagitaninos reportados para cualquier fruta comestible, por lo que podía tener un alto potencial comercial como alimento funcional. Sin embargo, las concentraciones más altas se encontraron en valores de fruta inmadura, la cual usualmente no es consumible.

Martínez-Cruz et al. [28] determinaron el contenido de compuestos potencialmente bioactivos en *R. adenotrichos* silvestres procedentes de Veracruz, México, reportando que la mora silvestre contiene 1,7 veces más cianidina-3-glucósido y una menor concentración de polifenoles totales que lo obtenido en moras cultivadas de Costa Rica y reportado por [17]. Los autores sugieren que las moras silvestres también deben ser consideradas como alimento funcional. Es importante señalar que [28] utilizaron una metodología de extracción y de cuantificación mediante HPLC distinta a la establecida por [17], lo que limita la comparación directa de los resultados con los reportados en otras investigaciones previas.

Después de los análisis directos a la fruta de mora, las investigaciones se centraron en determinar la concentración de los compuestos polifenólicos en diferentes variedades de *R. adenotrichos*, para determinar cuál poseía un mayor potencial económico. Los trabajos previos realizados habían utilizado la variedad Vino espina roja, una de las variedades comerciales utilizadas en Costa Rica. Primeramente, Araya et al. [24] evaluó las variedades Dulce, Vino espina roja y Vino sin espinas, bajo tres diferentes estados de madurez, las cuales para esta revisión se catalogaron en grado 1, 2 y 3, para la comparación con los resultados obtenidos por [18]. Los autores evaluaron diferentes solventes de extracción, así como la cantidad de extracciones necesaria para obtener la mayor cantidad de polifenoles en las muestras. La investigación determinó que realizando cuatro extracciones con etanol al 95%, fue el método de extracción adecuado para obtener la mayor cantidad de polifenoles totales y concluyen que, sin importar la variedad evaluada, las frutas inmaduras presentaban valores

más altos de polifenoles totales, capacidad antioxidante y proantocianidinas; mientras que, al aumentar el grado de madurez, aumenta la concentración de antocianinas, resultados similares a lo reportado por [18]. Además, se evidencia que, aunque existen diferencias notables entre las variedades de mora, la variedad Vino espina roja fue la que obtuvo las mayores concentraciones de los compuestos de interés.

Siguiendo esta misma línea, Soto et al. [22] evaluaron el efecto del genotipo en la concentración de los compuestos polifenólicos en moras cultivadas en Costa Rica. Para esto, fueron comparadas cinco variedades de *R. adenotrichos* (Vino espina roja, Vino espina blanca, Vino sin espinas, Dulce y Enana), dos variedades de *R. urticifolius*, así como una variedad de *R. miser* y *R. glaucus*. Las variedades Vino sin espinas y Enana, fueron las que tuvieron el mayor contenido de elagitaninos y antocianinas, respectivamente; resultados que difirieron con los reportados por [24], lo anterior puede deberse a que la metodología de extracción y análisis de compuestos utilizada en los estudios fue distinta. Además, los autores determinaron el efecto de las condiciones medioambientales en el contenido polifenólico de la fruta para la variedad Vino espina roja (cuadro 1), siendo la localidad de Dota, cultivada bajo un régimen orgánico la que obtuvo las mayores concentraciones de los compuestos de interés, obteniendo más antocianinas en la época lluviosa y más elagitaninos en la época seca.

A partir de los reportes de [18] y [24], se puede concluir, que las frutas de mora menos maduras tienen un alto contenido de elagitaninos, pero que conforme la fruta va madurando, estos compuestos disminuyen y el contenido de antocianinas va en aumento. Las investigaciones mencionadas hasta este momento evidencian que el genotipo, el ambiente y la metodología de extracción y cuantificación empleada provocan variaciones en la concentración de los compuestos de interés.

Por último, Montero et al. [23] estudiaron la composición nutricional, contenido de compuestos potencialmente bioactivos y capacidad antioxidante de once frutas comestibles ampliando lo realizado por [19], donde la mora presentó valores intermedios en los análisis físico-químicos realizados en comparación a las otras frutas evaluadas, exceptuando en el pH (siendo la más ácida) y en el contenido de fibra dietética en base húmeda (obteniendo el valor más alto). Sin embargo, siendo congruente con los resultados obtenidos por otros investigadores, la mora presentó 1,5 veces más concentración de polifenoles y 2,5 veces mayor capacidad antioxidante (cuadro 1) que la segunda fruta en importancia evaluada, determinando que a pesar de que la mora no destaca por su contenido nutricional, sí posee una de las mayores capacidades antioxidantes y contenido polifenólico entre frutas de consumo en Costa Rica.

Efecto del procesamiento en los compuestos polifenólicos del jugo de mora

Tomando en cuenta que la mora frecuentemente se consume como bebida, existen varios reportes documentando el efecto que ocasionan diferentes técnicas de procesamiento industrial del jugo de la mora, sobre la concentración de los compuestos polifenólicos. Cisse et al. [29] determinaron el efecto de la temperatura en el contenido de antocianinas en los jugos de mora, naranja y jamaica, estableciendo que las antocianinas sufren degradación térmica. Los autores propusieron ecuaciones de primer orden, para modelar la degradación de las antocianinas por la temperatura, las cuales pueden ser utilizadas como una herramienta para determinar la pérdida de este compuesto en procesos térmicos.

Luego, Gancel et al. [20] evaluaron el efecto que tiene el procesamiento y almacenamiento de la fruta sobre el contenido de sus compuestos y su capacidad antioxidante. Para esto, elaboraron un diagrama del procesamiento de la fruta obteniendo extractos para cada etapa del proceso, las cuales fueron: frutas cortadas, pulpa, residuos, jugo y bebida. Además, determinaron el efecto de diferentes temperaturas de almacenamiento en la concentración de los compuestos de interés. La fruta inicial utilizada mostró resultados similares a los obtenidos previamente por otros autores. Sin embargo, el procesamiento de las muestras para la elaboración del jugo redujo significativamente la concentración de elagitaninos y antocianinas. En general, se observó que la bebida de mora procesada obtuvo únicamente un 54% de todos los compuestos polifenólicos iniciales de la mora y su capacidad antioxidante disminuyó a la mitad. El escaldado que se realiza antes de cortar las frutas,

fue el paso donde hubo una mayor disminución de antocianinas y el llenado en caliente para la elaboración de la bebida final, fue donde hubo una mayor disminución de elagitaninos. Además, durante el almacenamiento se presentó una pérdida adicional de los compuestos polifenólicos, la cual se ve incrementada al aumentar la temperatura.

Los resultados obtenidos por [20] y [29] evidencian que el aumento de temperatura es un factor crítico que afecta la estabilidad de los polifenoles, ya que procesos térmicos provocan una disminución en la concentración de estos compuestos. Por lo que, es necesario buscar formas alternativas de procesamiento del jugo que eviten el uso de estos métodos. Es por ello por lo que, Acosta et al. [30] propusieron la ultrafiltración para la separación y purificación de elagitaninos en mora como método alternativo. Frutas de mora cortadas fueron prensadas con una prensa hidráulica y posteriormente pretratadas enzimáticamente; el jugo obtenido fue clarificado mediante una microfiltración y concentrado bajo evaporación osmótica, probando diferentes membranas y presiones de filtración y controlando la temperatura en cada proceso. Se encontró una combinación de presión transmembrana (2MPa) y membrana (GK de GE Osmonics) capaz de retener el 100% de la concentración de elagitaninos con el mayor flujo de antocianinas, siendo una opción viable para separar y purificar estos compuestos del jugo de mora.

Soto et al. [21] determinaron el efecto de pretratamientos enzimáticos y mecánicos sobre la concentración de los polifenoles en el jugo. Además, seleccionaron los pretratamientos continuo y discontinuo, ambos con adición de enzima, para posteriormente pasar por un proceso de clarificación para determinar el efecto combinado de ambas técnicas en la concentración de los compuestos potencialmente bioactivos. De los cinco pretratamientos evaluados, la prensa continua con preparación enzimática, fue la que obtuvo la mejor recuperación de elagitaninos y antocianinas. Sin embargo, este método de extracción, cuando el jugo se clarificó, produjo una disminución en la concentración de las antocianinas y elagitaninos; contrario al método discontinuo con preparación enzimática, en el cual la clarificación no redujo la concentración de estos compuestos.

Acosta et al. [31] determinó el contenido de polifenoles totales del jugo de la mora bajo nanofiltración, luego de obtener el jugo mediante el método de extracción y clarificación reportado por [21]. La nanofiltración es una técnica que permite concentrar antocianinas y elagitaninos de una manera más eficiente y a menor costo, sin reducir los compuestos potencialmente bioactivos por efectos del calor. Los autores determinaron que utilizando una membrana NF270 a una presión transmembrana de 3MPa, se obtiene el mayor flujo de permeado y se retuvo más del 90% de total de sólidos solubles y el 100% de las antocianinas y elagitaninos [31]. Lo anterior, muestra que la nanofiltración debe ser considerado como un método factible para favorecer la concentración de los compuestos de interés en los jugos de la mora.

González et al. [32] realizaron una aproximación metabolómica del jugo de la mora endulzado con estevia o con sacarosa, sin pasteurizar o pasteurizando bajo diferentes temperaturas de almacenamiento. Los autores reportaron que la composición de iones del jugo de mora varía entre los tratamientos evaluados, concluyendo que el procesamiento del jugo cambia la composición metabólica del mismo. Sin embargo, los autores no identificaron cuales compuestos metabólicos correspondían con los cambios de los iones, que permitieran aportar un mejor conocimiento de los cambios del jugo durante su procesamiento.

Por último, Quirós et al. [33] evaluaron el efecto de la extracción etanólica, la concentración térmica al vacío, la ultrafiltración y el secado por aspersión en los subproductos de la mora, el cual corresponde principalmente a semillas. Se determinó que el etanol al 57,1 % v/v con agua fue el solvente extractor óptimo para obtener los compuestos de interés. Además, la ultrafiltración permitió aumentar la concentración de los compuestos mayoritarios de los subproductos con una mayor pureza que la obtenida por la concentración térmica, mientras que el secado por aspersión disminuyó en aproximadamente un 80-90% la concentración de antocianinas y elagitaninos, siendo un proceso inviable para la formulación. Esto confirmó que, los procesos de concentración sin uso de calor, son mejores para la preservación de los elagitaninos.

Los trabajos mencionados en esta sección, exceptuando el de [32], muestran el impacto que tienen diferentes técnicas de procesamiento en la concentración de los elagitaninos y antocianinas en el jugo de mora (cuadro 1). La metodología para la obtención de jugo de mora con alto contenido de elagitaninos fue patentada [34] y representa un aporte de la factibilidad técnica para la explotación comercial de esta bebida.

Efectos bioactivos in vitro del jugo de la mora

Al comprobar que tanto la fruta de la mora, como el jugo procesado poseían los compuestos potencialmente bioactivos, se empezaron a realizar pruebas in vitro con el fin de determinar si estos compuestos presentaban posibles efectos benéficos para la salud. Cuevas-Rodríguez et al. [35] determinaron la concentración de polifenoles totales, la capacidad antioxidante y la inhibición de la respuesta proinflamatoria en líneas celulares de macrófagos utilizando diferentes extractos obtenidos de especies de mora silvestre. En todos los extractos evaluados, menos el rico en proantocianidinas, las muestras de *R. adenotrichos* fueron las que obtuvieron los valores más altos de polifenoles totales y capacidad antioxidante. Además, en términos generales, de los extractos probados, esta especie fue la que presentó los mayores porcentajes de inhibición entre las enzimas proinflamatorias evaluadas o en los compuestos que estas enzimas producen, como lo son el óxido nítrico y la prostaglandina, denotando que una dieta rica en moras podría reducir el estrés oxidativo.

Posteriormente, Azofeifa et al. [36] compararon la capacidad antioxidante y el efecto protector a la peroxidación lipídica de un jugo de mora fresco y uno microfiltrado. El jugo de mora microfiltrado presentó menor contenido de polifenoles totales, antocianinas y capacidad antioxidante mediante la prueba ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity), no así mediante la prueba del radical libre DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo). Sin embargo, al evaluar la capacidad para proteger la peroxidación lipídica, no hubo diferencias con ambos jugos, tanto con el modelo de hígado, como el de liposomas, demostrando que, el procesamiento del jugo afecta la capacidad antioxidante pero no la capacidad protectora de la peroxidación lipídica.

Todas las células, incluidos los eritrocitos, presentan una defensa propia contra los oxidantes extracelulares conocido como sistema Cell-MAP, es por esta razón que González et al. [37] evaluaron la actividad antioxidante celular de eritrocitos (ERYCA) y el aporte que la protección antioxidante mediada por células (Cell-MAP) y la eliminación directa de radicales libres (ORAC) brindan a los eritrocitos de diferentes frutas. La prueba ERYCA reflejó que el Cell-MAP aporta de 3 a 4 veces más protección antioxidante a los glóbulos rojos que la eliminación directa de radicales libres, determinando el posible aporte del consumo de frutas en la capacidad antioxidante de las células. Además, en términos generales, la capacidad antioxidante global de los eritrocitos fue más alta en las bayas tropicales de Costa Rica (arándano y mora) que en las demás frutas evaluadas en este estudio.

Luego, Azofeifa et al. [38] determinaron la actividad antiinflamatoria y antioxidante in vitro de la mora mediante ORAC, la concentración inhibidora media máxima (IC50) del jugo que se requiere para neutralizar al radical libre DPPH, la actividad de eliminación de óxido nítrico (NO) mediante IC50, la inhibición de la producción del anión superóxido y de la interleucina-6 (IL-6), la inhibición de la peroxidación lipídica en liposomas e hígado, y realizaron un ensayo antiinflamatorio a una línea celular de macrófagos murinos. Se determinó que el jugo de mora presenta un IC50 de NO 12 veces menor y un IC50 de DPPH similar al del ácido elágico, con una capacidad antioxidante ocho veces mayor comparado con el mismo estándar. Además, al aumentar la dosis del extracto, se incrementó la capacidad de inhibición de la peroxidación lipídica, tanto en liposomas como en homogenizados de hígado. Asimismo, el extracto tuvo la capacidad de inhibir la producción del anión superóxido, del óxido nítrico y del IL-6. Estos resultados evidenciaron que los extractos de mora disminuyeron el estrés oxidativo de las células, protegiendo contra diferentes radicales libres y tienen potencial para disminuir procesos inflamatorios.

Calvo-Castro et al. [39] utilizaron líneas celulares epidérmicas humanas de queratinocitos y fibroblastos para evaluar el efecto del jugo de mora como protector contra los rayos ultravioleta B (UVB), el principal agente responsable del cáncer de piel. A las líneas celulares se les agregó una dilución de jugo de mora ultrafiltrado 2 h antes y 24 h después de ser irradiadas con rayos UVB. Los resultados mostraron un efecto fotoquimioprotector a las líneas celulares. Además, se determinó un aumento en la apoptosis de las células irradiadas, el cual es uno de los primeros mecanismos de defensa de las células de la piel para contrarrestar los efectos de agentes cancerígenos.

La pasteurización es un método térmico muy utilizado para reducir la concentración de patógenos en líquidos, el cual podría tener un efecto negativo en la concentración de los compuestos de interés, como se evidenció en los estudios relacionados al procesamiento del jugo. Debido a esto, Azofeifa et al. [40] determinaron si este proceso podría afectar la inhibición de la peroxidación lipídica, el ERYCA y la capacidad antioxidante del jugo de mora. Los autores probaron el control con un jugo pasteurizado a 75 °C y otro a 92 °C. Los resultados que obtuvieron determinaron que la pasteurización no afectó el contenido de polifenoles totales ni elagitaninos, ni los valores de capacidad antioxidante, ERYCA e inhibición de la peroxidación lipídica en liposomas e hígado. Sin embargo, sí tuvo efectos negativos en la concentración de antocianinas, similar a lo obtenido por [29], en el IC₅₀ del DPPH y en el IC₅₀ del NO. No obstante, en términos generales, se puede concluir que la pasteurización mantuvo las propiedades biológicas de los compuestos bioactivos de la mora.

Azofeifa et al. [41] realizaron pruebas para determinar la actividad antioxidante de un jugo microfiltrado de mora en un proceso de digestión in vitro. Los resultados obtenidos demostraron que la digestión inicial con pepsina aumentó los valores de antocianinas y elagitaninos, sin embargo, el proceso de diálisis demostró una reducción significativa en la concentración, disminuyendo en más de un 50% en la muestra que se desecha al colon y en la muestra que representa la solución absorbida por el cuerpo. Sin embargo, los valores obtenidos de IC₅₀ de DPPH y NO así como la capacidad antioxidante mostraron resultados similares entre sí en la inhibición de la peroxidación lipídica en liposomas e hígado y en el ERYCA. Los resultados obtenidos demuestran que, a pesar de que hay una disminución en los compuestos bioactivos de la mora luego de ser tratadas por las enzimas gastrointestinales, éstos presentan un efecto antioxidante similar en cada etapa.

Por último, Madrigal-Gamboa et al. [42] determinaron el impacto del procesamiento del jugo de la mora (fruta, pulpa, jugo microfiltrado y jugo diafiltrado) en el efecto citotóxico de los polifenoles bajo diferentes líneas celulares de cáncer. En términos generales, el contenido de polifenoles totales, elagitaninos y antocianinas disminuyeron en cada paso del proceso. Asimismo, la fruta sin procesar fue la que obtuvo los mayores efectos citotóxicos contra las diferentes líneas celulares exceptuando la de piel. Además, las líneas celulares de colon, estómago e hígado presentaron un aumento significativo en la apoptosis celular comparadas al control, sugiriendo un potencial uso terapéutico y corroborando los resultados obtenidos por [39].

Los valores obtenidos en polifenoles totales, elagitaninos, antocianinas y capacidad antioxidante por [38], [40] y [41] son muy superiores al resto de las publicaciones mencionadas en el cuadro 1, obteniendo, por ejemplo, valores 30 veces menores en IC₅₀ de DPPH (2,5-6,5 µg/ml) o 15 veces mayores en ORAC (4000-8000 µmol ET/g). Esto es debido a que los autores no cuantifican el peso húmedo o seco del jugo de mora, sino que lo hacen de un extracto purificado rico en polifenoles obtenido a través de una cromatografía de afinidad, razón por la cual, estos resultados no pueden ser comparados con la del resto de las investigaciones y fueron excluidos de el cuadro 1. Además, los resultados obtenidos en esta sección evidencian que, a pesar de que el procesamiento del jugo de mora afecta la concentración de los compuestos de interés, en términos generales, no afecta su efecto antioxidante en diferentes pruebas in vitro.

Efectos bioactivos in vivo del jugo de la mora

Las pruebas in vitro mostraron que los compuestos polifenólicos presentan un uso potencial como agentes antioxidantes benéficos para la salud, por lo que el siguiente paso a seguir es evaluar su efecto a través de pruebas in vivo. La urolitina es un compuesto producido por las bacterias intestinales al degradar alimentos que contengan elagitaninos y ácido elágico, a los cuales se les atribuye un efecto benéfico al disminuir el envejecimiento celular y contrarrestar enfermedades como la obesidad, diabetes, problemas cardiovasculares o cáncer, entre muchas otras [43].

Debido a esto, García-Muñoz et al. [44] analizaron muestras de orina de 26 individuos con el fin de encontrar urolitina. La investigación determinó que existen tres grupos de individuos diferentes de acuerdo con la concentración de urolitinas en la orina. El primero no presentó concentraciones de urolitina A ni B, el segundo grupo presentó altas concentraciones de urolitina A y el último grupo presentó niveles elevados de urolitina B, lo que permite generar evidencia sobre la variabilidad interindividuo en la digestión de frutas con componentes benéficos para la salud. Además, que existe una interacción con la comida y la microbiota de cada individuo, lo que permite una absorción diferencial de los elagitaninos y su conversión a urolitinas.

El estrés oxidativo y el desbalance en las especies reactivas de oxígeno juegan un papel importante en la aparición de enfermedades como la diabetes, hiperglicemia y resistencia a la insulina, así como en problemas cardiovasculares y complicaciones renales. El estudio de Azofeifa et al. [45] analizó el efecto que tiene la bebida de mora en ratones Sprague-Dawley que fueron inducidos a diabetes. Los ratones diabéticos tuvieron una pérdida de peso mientras que el grupo control, más bien aumentó de peso. Sin embargo, las ratas diabéticas que fueron alimentadas con jugo de mora, especialmente las que contenía un 25% v/v jugo de mora:agua, mostraron una reducción de un 50% en la concentración de glucosa en sangre, así como una reducción en diferentes indicadores: 30% en el colesterol, 20% en la peroxidación lipídica en el hígado y de un 45% en los triglicéridos. Los resultados obtenidos por los investigadores demostraron que beber jugo de mora mejora el control de la glucemia y reduce la concentración de lípidos en la sangre, sugiriendo que puede ser utilizado como una alternativa alimenticia para el control de la diabetes.

Madrigal et al. [46] determinaron el poder antioxidante y las características fisicoquímicas de formulaciones dermo-cosméticas a partir de extractos de mora. Los autores realizaron diferentes metodologías de extracción y utilizaron diferentes solventes orgánicos, obteniendo tanto las fases acuosas como las fases orgánicas. Los resultados obtenidos determinaron que las formulaciones a base de mora son potencialmente bacteriostáticos, hidratantes de la piel, nutritivas y evitan el envejecimiento y las arrugas en la piel. El producto formulado, posee propiedades astringentes que le permiten ayudar a cicatrizar pequeñas heridas superficiales de la piel y su pH ácido es beneficioso para mantener el manto ácido cutáneo y favorecer la flora normal de la piel.

Quesada-Morúa et al. [47] evaluaron a trece individuos sin historial médico de enfermedades cardiovasculares, hepáticas, renales o gastrointestinales en dos grupos diferentes. Primeramente, ambos grupos tuvieron una dieta baja en antioxidantes durante tres días, luego, al cuarto día y hasta el día 11, la dieta se cambió a un consumo promedio de 4000 kcal/día, alta en carbohidratos y grasas. El primer grupo en cada comida consumía 250 ml de jugo microfiltrado de mora, mientras que el grupo 2 bebía agua. Al finalizar este período, cada individuo retomaba su vida cotidiana por 16 días, y posteriormente se repetía la metodología, pero intercambiando los grupos. En promedio, el grupo que tomó mora obtuvo valores menores a los expresados inicialmente, en la concentración de colesterol, triglicéridos, lipoproteínas de baja densidad (LDL), lipoproteínas de alta densidad (HDL) y de glucosa en sangre. Los resultados obtenidos sugieren que la bebida de mora puede tener beneficios cardiovasculares.

Los resultados obtenidos por [44] sugieren que, en una muestra reducida de 26 individuos, la respuesta de un alimento nutraceutico como la mora, depende mucho de la flora intestinal del individuo, por lo que, los resultados obtenidos por [47], aunque son prometedores, deben ampliarse a un número mayor de individuos, con el fin de evaluar esa variabilidad interindividuo que podría provocar efectos benéficos a algunas personas, pero a otras no, con el fin de llegar a conclusiones más robustas y confiables.

Producción de compuestos polifenólicos en la mora mediante técnicas biotecnológicas

Para aprovechar los compuestos bioactivos de la mora, estos se pueden obtener a través de la fruta o el jugo; sin embargo, también es posible hacer uso de herramientas biotecnológicas para obtenerlos, tomando en cuenta que la producción de mora en campo depende de las condiciones medioambientales y el grado de madurez de la fruta [18][22][24]. Por esta razón, Martínez-Cruz et al. [48] escarificaron semillas de mora y las pusieron bajo dos medios de cultivo diferente para favorecer la germinación; asimismo hojas de este cultivo fueron sometidas a la formación de callo con diferentes medios de cultivo. Los autores reportaron los mayores índices de germinación al remover la cubierta de la semilla, en un medio de cultivo sin reguladores de crecimiento, y obtuvieron un callo friable de color morado, tanto en un medio Murashige y Skoog (MS) suplementado con ácido naftalenacético y kinetina, como en un medio WPM (Woody Plant médium) suplementado con polivinilpirrolidona, ácido ascórbico y 2,4-diclorofenoxiacético. El callo es definido como un aglomerado de células indiferenciadas que sirve como base para los cultivos de células en suspensión en cultivos en matraces o en biorreactores; Sin embargo, los autores no cuantificaron el contenido de los compuestos polifenólicos en los callos, por lo que generaron una estrategia de producción de células desconociendo si tenían potencial para la producción de los compuestos de interés.

Schmidt-Durán et al. [49] indujeron callo a partir de segmentos de hoja de plantas de mora y establecieron suspensiones celulares finas con fines de producción de los compuestos potencialmente bioactivos de manera *in vitro*. Los autores determinaron las cinéticas de crecimiento en callo y las células en suspensión de mora, obteniendo una concentración de 0,0256 mg EAG/g de peso fresco a una concentración de $1,0 \times 10^6$ células/ml de un extracto del cultivo celular.

Posteriormente, Schmidt-Durán et al. [50] optimizaron las condiciones de crecimiento en matraz para la obtención de los compuestos de interés. Los autores determinaron que el metanol con células liofilizadas era el método de extracción donde obtenían la mayor concentración de los compuestos de interés. Además, evidenciaron que utilizando un tapón de algodón en el erlenmeyer conteniendo el medio de cultivo Gamborg suplementado con 1 mg/l de ácido indobutírico, 5 mg/l de 6-bencilaminopurina, 20 mg/l de L-glutamina y 200 mg/l de caseína hidrolizada incrementan considerablemente la producción de los metabolitos secundarios analizados en las células en suspensión, obteniendo 0,313 mg equivalentes de ácido gálico/g de polifenoles totales; 3,647 μ mol equivalentes de Trolox/g de capacidad antioxidante mediante DPPH; 0,135 mg equivalentes de ácido elágico/g de ácido elágico y 2,389 mg equivalente de vanillina/g; considerando que los resultados obtenidos por los autores están expresados por gramo de peso seco de células en suspensión.

Las investigaciones realizadas por [49] y [50] determinaron que el uso de herramientas biotecnológicas para la producción de células vegetales en cultivos líquidos en suspensión también es una posibilidad para obtener los compuestos de interés reportados en la fruta y el jugo de la mora, brindando la posibilidad de estandarizar y optimizar las condiciones de crecimiento para la obtención de estos compuestos a través de cultivos celulares con miras a su producción en biorreactores.

Perspectivas futuras

De acuerdo con las investigaciones realizadas en *R. adenotrichos*, es necesario profundizar en el conocimiento de cómo las condiciones medioambientales (relación genotipo:ambiente) intervienen en la producción de los compuestos de interés, que permita generar estrategias a nivel agronómico que favorezcan la concentración de los compuestos polifenólicos en el cultivo, dando un valor agregado a la comercialización de la fruta o la venta de productos agroindustriales, como alimento funcional. Adicionalmente, las investigaciones con cultivos celulares *in vitro* y su posible escalamiento en biorreactores, tema poco estudiado hasta el momento en este cultivo, abre la posibilidad de contar con condiciones controladas que permitan aumentar la concentración de los compuestos de interés y puedan ser usados posteriormente a nivel macrobiótico o como

un aditivo alimenticio. Por último, es necesario seguir realizando investigaciones in vivo, que permitan ampliar el conocimiento de los posibles efectos benéficos que consumir mora podría tener para mejorar la calidad de vida de las personas.

Conclusiones

Esta revisión logró determinar que *R. adenotrichos* presenta una serie de compuestos potencialmente bioactivos, especialmente elagitaninos y antocianinas en la fruta, las cuales presentan una alta capacidad antioxidante comparado a otras frutas; no obstante, el procesamiento de la fruta para la elaboración de jugo disminuye considerablemente la concentración de estos compuestos. A pesar de esto, el efecto antioxidante in vitro del jugo no se ve afectado, ya que se ha logrado demostrar que tiene potencial antioxidante al inhibir diferentes radicales libres y un posible efecto benéfico al inhibir la peroxidación lipídica, ayudar en procesos antiinflamatorios y tener un efecto fotoquimioprotector y apoptótico en líneas celulares cancerígenas. Además, in vivo, el jugo de mora puede tener efectos cardiovasculares benéficos, y al ser digerido, puede producir urolitinas, moléculas muy estudiadas por sus posibles efectos beneficiosos para la salud. Por último, a nivel biotecnológico, hay un gran potencial de poder utilizar cultivos celulares de mora en biorreactores, que permitan generar un bioproceso para la producción de estos compuestos a gran escala y de una manera comercial.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Ph.D Randall Chacón por sus recomendaciones al manuscrito.

Financiamiento

El trabajo se financió por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Proyecto 1510121).

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Referencias

- [1] J. J. Castro y M. M. Cerdas, "Mora (*Rubus* spp). Cultivo y manejo poscosecha," Costa Rica, Imprenta Nacional, 2005.
- [2] D. Flores, A. Montero, R. Orozco y F. Argüello, "Primer Foro-Taller Nacional sobre el cultivo de la mora (*Rubus* spp.)," Costa Rica, Editorial Centro de Información Tecnológica, 2003.
- [3] C. E. Finn, "Blackberries," en *Temperate Fruit Crop Breeding*, F. Hancock, ed, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 83-114, 2008. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6907-9_3
- [4] R. M. Brennan, P. S. Caligari, J. R. Clark, P. N. Brás de Oliveira, C. E. Finn, J. F. Hancock, et al., "Berry Crops," en *Horticulture: Plants for people and places, Volume 1*, G. R. Dixon, D. E. Aldous, eds, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 301-325, 2014. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5_9
- [5] J. Graham y M. Woodhead, "Rubus," en *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*, C. Kole, ed, Springer, Heidelberg, Berlin, pp. 179-196, 2011. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16057-8_9
- [6] J. Lee, M. Dossett y C. E. Finn, "Rubus fruit phenolic research: The good, the bad, and the confusing," *Food Chem*, vol. 130, pp. 785-796, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.022>
- [7] C. Gonzalez y E. Perez, "Extracción enzimática de esteviolglucósidos en jugo de mora (*Rubus adenotrichus*)," *Rev Colomb Investig Agroindustriales*, vol. 4, no. 1, pp. 24-38, 2017. <https://doi.org/10.23850/24220582.663>
- [8] K. Rodríguez-Díaz, H. Silva-Rojas, J. Boyzo-Marin, S. Segura-Ledesma, S. Leyva-Mir, Á. Rebollar-Alviter, "Molecular detection of *Peronospora sparsa* in sources of primary inoculum and components of resistance in wild blackberry species," *Eur J Plant Pathol*, vol. 149, no. 4, pp. 845-851, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1232-7>
- [9] S. Segura, A. Rebollar-Alviter, J. Boyzo-Marín, M. Hernández-Bello y J. López-Medina, "Genetic resources of blackberry wild species in Michoacan, Mexico," *Acta Hort*, vol. 946, pp. 107-111, 2012. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2012.946.14>
- [10] D. Flores-Mora y F. Argüello-Delgado, "Cultivo de la mora. Innovaciones Tecnológicas," Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2005.
- [11] D. Flores, R. Chacón, V. Jiménez y F. Ortiz, "Enraizamiento de mora (*Rubus adenotrichus*) en medio líquido en el sistema de inmersión temporal y su aclimatación en invernadero," *Tecnol Marcha*, vol. 25, no. 2, pp. 3-9, 2012. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.300>
- [12] D. Flores, R. Chacón, L. Alvarado, A. Schmidt, C. Alvarado y J. Chaves, "Effect of using two different types of carbon nanotubes for blackberry (*Rubus adenotrichus*) in vitro plant rooting, growth and histology," *Am J Plant Sci*, vol. 05, no. 24, pp. 3510-3518, 2014. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.524367>
- [13] R. Orozco-Rodríguez, D. Flores-Mora y F. Argüello-Delgado, "Efecto de diferentes tipos de propagación en el rendimiento de mora vino (*Rubus adenotrichus*)," *Agron Mesoam*, vol. 22, no. 1, pp. 91-97, 2011. <https://doi.org/10.15517/am.v22i1.8671>
- [14] R. Orozco y R. Muñoz, "Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y en rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica," *Tecnol Marcha*, vol. 25, no. 1, pp. 16-31, 2012. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i1.173>
- [15] M. Orozco-Aceves, J. Calvo-Araya, J. Gamboa-Tabares, W. Peraza-Padilla, O. Varela-Rodríguez y R. Orozco-Rodríguez, "Efecto de dos abonos orgánicos en las cadenas tróficas del suelo cultivado con mora," *Agron Mesoam*, vol. 28, no. 3, pp. 619-628, 2017. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i3.25861>

- [16] T. J. Park, J. G. Martin y R. Linhardt, "Pharmacological applications of biocompatible carbon nanotubes and their emerging toxicology issues," en *Medicinal chemistry and pharmacological potential of fullerenes and carbon nanotubes. Carbon Materials: Chemistry and Physics*, vol 1, F. Cataldo, T. Da Ros, eds, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 283-316, 2008. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6845-4_12
- [17] C. Mertz, V. Cheynier, Z. Günata y P. Brat, "Analysis of phenolic compounds in two blackberry species (*Rubus glaucus* and *Rubus adenotrichus*) by high-performance liquid chromatography with diode array detection and electrospray ion trap mass spectrometry," *J Agric Food Chem*, vol. 55, no. 21, pp. 8616-8624, 2007. <https://doi.org/10.1021/jf071475d>
- [18] O. Acosta-Montoya, F. Vaillant, S. Cozzano, C. Mertz, A. Pérez y M. Castro, "Phenolic content and antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus* Schltdl.) during three edible maturity stages," *Food Chem*, vol. 119, no. 4, pp. 1497-1501, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.032>
- [19] C. Mertz, A. Gancel, Z. Gunata, P. Alter, C. Dhuique-Mayer, F. Vaillant, et al., "Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits," *J Food Compos Anal*, vol. 22, no. 5, pp. 381-387, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.06.008>
- [20] A. Gancel, A. Feneuil, O. Acosta, A. Pérez y F. Vaillant, "Impact of industrial processing and storage on major polyphenols and the antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus*)," *Food Res Int*, vol. 44, no. 7, pp. 2243-2251, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.06.013>
- [21] M. Soto, O. Acosta, F. Vaillant y A. Pérez, "Effects of mechanical and enzymatic pretreatments on extraction of polyphenols from blackberry fruits," *J Food Process Eng*, vol. 39, no. 5, pp. 492-500, 2016. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12240>
- [22] M. Soto, A. Pérez, M. Cerdas, F. Vaillant y O. Acosta, "Physicochemical characteristics and polyphenolic compounds of cultivated blackberries in Costa Rica," *J Berry Res*, vol. 9, no. 2, pp. 283-296, 2019. <https://doi.org/10.3233/jbr-180353>
- [23] M. Montero, C. Rojas-Garbanzo, J. Usaga y A. Pérez, "Composición nutricional, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante hidrofílica de frutas costarricenses seleccionadas," *Agron Mesoam*, vol. 33, no. 2, 2022. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.46175>
- [24] M. Araya, Y. Carvajal, V. Alvarez, R. Orozco y G. Rodriguez, "Polyphenol characterization of three varieties of blackberry fruits (*Rubus adenotrichos*), cultivated in Costa Rica," *J Berry Res*, vol. 7, no. 2, pp. 97-107, 2017. <https://doi.org/10.3233/jbr-170150>
- [25] J. P. Rojas-Llanes, J. R. Martínez y E. E. Stashenko, "Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de extractos de mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenidos bajo diferentes condiciones," *Rev Vitae*, vol. 21, no. 3, pp. 218-227, 2014. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.18852>
- [26] H. P. Makkar, "Measurement of total phenolics and tannins using Folin-Ciocalteu method," en *Quantification of tannins in tree and shrub foliage*, H. P. Makkar, ed, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 49-51, 2003. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0273-7_3
- [27] S. Vijayalaxmi, S. K. Jayalaksmi y K. Sreeramulu, "Polyphenols from different agricultural residues: extraction, identification and their antioxidant properties," *J Food Sci Technol*, vol. 52, no. 5, pp. 2761-2769, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1295-9>
- [28] N. Martínez-Cruz, K. Arévalo-Niño, M. J. Verde-Star, C. Rivas-Morales, A. Randay-Cárdenas, M. A. Núñez-González, et al., "Antocianinas y actividad anti radicales libres de *Rubus adenotrichus* Schltdl (zarzamora)," *Rev Mex Cienc Farm*, vol. 42, no. 4, pp. 66-71, 2011.

- [29] M. Cisse, F. Vaillant, O. Acosta, C. Dhuique-Mayer y M. Dornier, "Thermal degradation kinetics of anthocyanins from blood orange, blackberry, and roselle using the arrhenius, eyring, and ball models," *J Agric Food Chem*, vol. 57, no. 14, pp. 6285-6291, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf900836b>
- [30] O. Acosta, F. Vaillant, A. Pérez y M. Dornier, "Potential of ultrafiltration for separation and purification of ellagitannins in blackberry (*Rubus adenotrichus* Schltdl.) juice," *Sep Purif Technol*, vol. 125, pp. 120-125, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.01.037>
- [31] O. Acosta, F. Vaillant, A. Pérez y M. Dornier, "Concentration of polyphenolic compounds in blackberry (*Rubus adenotrichos* Schltdl.) juice by nanofiltration," *J Food Process Eng*, vol. 40, 2017. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12343>
- [32] C. González, L. Hernández y F. Vaillant, "Análisis de un jugo de mora (*Rubus adenotrichos*) endulzado con estevia (*Stevia rebaudina* Bertoni), una aproximación metabolómica," *Rev Udca Actual Divul Cient*, vol. 20, no. 1, pp. 121-129, 2017. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.69>
- [33] A. Quirós, O. Acosta, E. Thompson y M. Soto, "Effect of ethanolic extraction, thermal vacuum concentration, ultrafiltration, and spray drying on polyphenolic compounds of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichos* Schltdl.) by-product," *J Food Process Eng*, vol. 42, no. 4, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13051>
- [34] O. Acosta, F. Vaillant, M. Dornier y A. M. Pérez, "Método para la obtención de un extracto rico en taninos del ácido elágico a partir de frutos que contienen estos compuestos y extracto obtenido usando dicho método," [Internet]. Patente Internacional 2012/152232, Noviembre 15, 2012. Disponible en: https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2012152232&_fid=US124047089.
- [35] E. O. Cuevas-Rodríguez, V. P. Dia, G. G. Yousef, P. A. García-Saucedo, J. López-Medina, O. Paredes-López, et al., "Inhibition of pro-inflammatory responses and antioxidant capacity of Mexican blackberry (*Rubus* spp.) extracts," *J Agric Food Chem*, vol. 58, no. 17, pp. 9542-9548, 2010. <https://doi.org/10.1021/jf102590p>
- [36] G. Azofeifa, S. Quesada y A. Pérez, "Effect of the microfiltration process on antioxidant activity and lipid peroxidation protection capacity of blackberry juice," *Rev Bras Farmacogn*, vol. 21, no. 5, pp. 829-834, 2011. <https://doi.org/10.1590/s0102-695x2011005000133>
- [37] E. González, F. Vaillant, A. Pérez y G. Rojas, "In vitro cell-mediated antioxidant protection of human erythrocytes by some common tropical fruits," *J Nutr Food Sci*, vol. 2, no. 3, 2012. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000139>
- [38] G. Azofeifa, S. Quesada, F. Boudard, M. Morena, J. Cristol, A. Pérez, et al., "Antioxidant and anti-inflammatory in vitro activities of phenolic compounds from tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichos*)," *J Agric Food Chem*, vol. 61, no. 24, pp. 5798-5804, 2013. <https://doi.org/10.1021/jf400781m>
- [39] L. Calvo-Castro, D. Syed, J. Chamcheu, F. Vilela, A. Pérez, F. Vaillant, et al., "Protective effect of tropical highland blackberry juice (*Rubus adenotrichos* Schltdl.) against UVB-mediated damage in human epidermal keratinocytes and in a reconstituted skin equivalent model," *Photochem Photobiol*, vol. 89, no. 5, pp. 1199-1207, 2013. <https://doi.org/10.1111/php.12104>
- [40] G. Azofeifa, S. Quesada, A. Pérez, F. Vaillant y A. Michel "Pasteurization of blackberry juice preserves polyphenol-dependent inhibition for lipid peroxidation and intracellular radicals," *J Food Compos Anal*, vol. 42, pp. 56-62, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.015>
- [41] G. Azofeifa, S. Quesada, A. Pérez, F. Vaillant y A. Michel, "Effect of an in vitro digestion on the antioxidant capacity of a microfiltrated blackberry juice (*Rubus adenotrichos*)," *Beverages*, vol. 4, no. 2, pp. 30, 2018. <https://doi.org/10.3390/beverages4020030>

- [42] V. Madrigal-Gamboa, J. Jiménez-Arias, O. Hidalgo, S. Quesada, A. Pérez y G. Azofeifa, "Membrane processing effect of blackberry (*Rubus adenotrichos*) on cytotoxic and pro-apoptotic activities against cancer cell lines," *J Food Process Preserv*, vol. 45, no. 6, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15575>
- [43] D. D'Amico, M. Olmer, A. M. Fouassier, P. Valdés, P. Andreux, C. Rinsch, et al., "Urolithin A improves mitochondrial health, reduces cartilage degeneration, and alleviates pain in osteoarthritis," *Trends Mol Med*, vol. 27, no. 7, pp. 687-699, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2021.04.009>
- [44] C. García-Muñoz, L. Hernández, A. Pérez y F. Vaillant, "Diversity of urinary excretion patterns of main ellagitannins' colonic metabolites after ingestion of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus*) juice," *Food Res Int*, vol. 55, pp. 161-169, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.049>
- [45] G. Azofeifa, S. Quesada, L. Navarro, O. Hidalgo, K. Portet, A. Pérez, et al., "Hypoglycaemic, hypolipidaemic and antioxidant effects of blackberry beverage consumption in streptozotocin-induced diabetic rats," *J Funct Foods*, vol. 26, pp. 330-337, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.08.007>
- [46] G. Madrigal, R. Vargas, G. Carazo, N. Ramirez, L. Fonseca y J. Campos, "Rubus adenotrichus fruits extracts phytochemical characterization and antioxidant power evaluation for dermocosmetics formulation," *Int J Phytocosmetics Nat Ingrid*, vol. 4, no. 1, 2017. <https://doi.org/10.15171/ijpni.2017.05>
- [47] M. Quesada-Morúa, O. Hidalgo, J. Morera, G. Rojas, A. Pérez, F. Vaillant, et al., "Hypolipidaemic, hypoglycaemic and antioxidant effects of a tropical highland blackberry beverage consumption in healthy individuals on a high-fat, high-carbohydrate diet challenge," *J Berry Res*, vol. 10, no. 3, pp. 459-474, 2020. <https://doi.org/10.3233/jbr-190516>
- [48] N. S. Martínez-Cruz, K. Arévalo-Niño, M. J. Verde-Star, A. Oranday-Cárdenas, C. Rivas-Morales, J. Treviño-Neávez, et al., "Germinación in vitro e inducción de callo en *Rubus adenotrichus* Schltdl.," *Polibotánica*, vol. 35, pp. 99-107, 2013.
- [49] A. Schmidt-Durán, C. Alvarado-Ulloa, R. Chacón-Cerdas, L. Alvarado-Marchena y D. Flores-Mora, "Callogenesis and cell suspension establishment of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichos* Schltdl.) and its microscopic analysis," *Springerplus*, vol. 5, no. 1, 2016. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3381-0>
- [50] A. Schmidt-Durán, L. A. Calvo-Castro, C. Alvarado-Ulloa, O. Acosta-Montoya y M. Rodríguez-Monroy, "Cell suspension cultures for the production of antioxidant phenolic compounds: experiments with tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichos* Schltdl. cv. Vino)," *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02428-9>
- [51] Y. Choi y M. Okos, "Effect of temperature and composition on the thermal properties of foods," en: *Food Engineering and Process Applications*, Vol. 1, L. M. Maguer, P. Jelen, eds, New York, Elsevier, pp. 93-101, 1986.

ANEXO

Cuadro 1.

Polifenoles totales, capacidad antioxidante, antocianinas y elagitaninos reportados por gramo de peso seco obtenidos a partir de *Rubus adenotrichos* Schltdl. de las diferentes investigaciones.

Cita	Polifenoles totales	Capacidad antioxidante	Compuestos polifenólicos
Investigaciones que utilizaron la fruta de la mora			
[17]	Técnica Folin-Ciocalteu 63 mg EAG/g		Técnica HPLC-DAD Elagitaninos 10,18 mg/g Antocianinas 7,20 mg/g
[19]1	Técnica Folin-Ciocalteu 63 mg EAG/g	Técnica ORAC Extracto crudo: 106,86 $\mu\text{mol ET/g}$ Extracto de acetona: 243,43 $\mu\text{mol ET/g}$ Extracto de acetona lavado: 249,14 $\mu\text{mol ET/g}$ Extracto de XAD-7: 220,57 $\mu\text{mol ET/g}$ Extracto de hexano: 0,69 $\mu\text{mol ET/g}$	
[18]	Técnica Folin-Ciocalteu Grado 1: 33,7 mg EAG/g Grado 2: 29,0 mg EAG/g Grado 3: 35,0 mg EAG/g	Técnica ORAC Grado 1: 222 $\mu\text{mol ET/g}$ Grado 2: 269 $\mu\text{mol ET/g}$ Grado 3: 432 $\mu\text{mol ET/g}$	Técnica HPLC-DAD Elagitaninos Grado 1: 22,0 mg EAE/g Grado 2: 20,0 mg EAE/g Grado 3: 14,6 mg EAE/g Antocianinas Grado 1: 1,14 mg EC3G/g Grado 2: 3,49 mg EC3G/g Grado 3: 8,96 mg EC3G/g Método diferencial de pH Antocianinas Grado 1: 0,5 mg EC3G/g Grado 2: 1,8 mg EC3G/g Grado 3: 5,2 mg EC3G/g
[28]	Técnica Folin-Ciocalteu 29,23 mg EAG/g	Técnica IC50 DPPH 148 $\mu\text{g/ml}$	Técnica HPLC Antocianinas 11,5 mg EC3G/g Técnica Método diferencial de pH Antocianinas 12,3 mg/g
[24]	Técnica Folin-Ciocalteu Dulce Grado 1: 83 mg EAG/g Grado 2: 20,3 mg EAG/g Grado 3: 13,5 mg EAG/g Sin espinas Grado 1: 93,0 mg EAG/g Grado 2: 25,3 mg EAG/g Grado 3: 17,6 mg EAG/g Espina roja Grado 1: 104,0 mg EAG/g Grado 2: 31,0 mg EAG/g Grado 3: 20,0 mg EAG/g	Técnica ORAC Dulce Grado 1: 1781 $\mu\text{mol ET/g}$ Grado 2: 866 $\mu\text{mol ET/g}$ Grado 3: 551 $\mu\text{mol ET/g}$ Sin espinas Grado 1: 2131 $\mu\text{mol ET/g}$ Grado 2: 1230 $\mu\text{mol ET/g}$ Grado 3: 767 $\mu\text{mol ET/g}$ Espina roja Grado 1: 2805 $\mu\text{mol ET/g}$ Grado 2: 1543 $\mu\text{mol ET/g}$ Grado 3: 994 $\mu\text{mol ET/g}$	Técnica Método diferencial de pH Antocianinas Dulce Grado 1: 0,71 mg /g Grado 2: 2,02 mg /g Grado 3: 9,0 mg /g Sin espinas Grado 1: 0,92 mg/g Grado 2: 2,37 mg/g Grado 3: 11,3 mg/g Espina roja Grado 1: 1,38 mg/g Grado 2: 3,30 mg/g Grado 3: 15,40 mg/g

				Técnica HPLC-DAD Elagitaninos Vino espina roja: 32,0 mg EAE/g Vino espina blanca: 27,0 mg EAE/g Vino sin espinas: 47,0 mg EAE/g Dulce: 23,0 mg EAE/g Enana: 15,3 mg EAE/g Antocianinas Vino espina roja: 10,1 mg EC3G/g Vino espina blanca: 10,3 mg EC3G/g Vino sin espinas: 7,5 mg EC3G/g Dulce: 4,7 mg EC3G/g Enana: 12,0 mg EC3G/g
[22]				
[23]1	Técnica Folin-Ciocalteu 32,02 mg EAG/g	Técnica ORAC 369,64 μmol ET/g		
Cita	Polifenoles totales	Capacidad antioxidante		Compuestos polifenólicos
Investigaciones que utilizaron el jugo de la mora				
[29]2,3				Técnica Método diferencial de pH Antocianinas Filtrado: 16,48 mg EC3G/g Pulpa: 14,40 mg EC3G/g
		Técnica ORAC Frutas congeladas: 306,81 μmol ET/g Pulpa tamizada: 471,96 μmol ET/g Residuos gruesos: 131,18 μmol ET/g Pulpa pasteurizada: 533,33 μmol ET/g Residuos finos: 403,96 μmol ET/g Pulpa congelada: 607,53 μmol ET/g Jugo descongelado: 578,12 μmol ET/g Bebida a base de fruta: 54,90 μmol ET/g Producto final: 46,84 μmol ET/g Técnica DPPH Frutas congeladas: 223,04 μmol ET/g Pulpa tamizada: 282,24 μmol ET/g Residuos gruesos: 71,10 μmol ET/g Pulpa pasteurizada: 416,16 μmol ET/g Residuos finos: 412,38 μmol ET/g Pulpa congelada: 330,11 μmol ET/g Jugo descongelado: 398,44 μmol ET/g Bebida a base de fruta: 42,16 μmol ET/g Producto final: 33,67 μmol ET/g		Técnica HPLC-DAD Elagitaninos Frutas congeladas: 9,86 mg EAE/g Pulpa tamizada: 14,89 mg EAE/g Residuos gruesos: 2,12 mg EAE/g Pulpa pasteurizada: 18,66 mg EAE/g Residuos finos: 13,58 mg EAE/g Pulpa congelada: 18,62 mg EAE/g Jugo descongelado: 19,45 mg EAE/g Bebida a base de fruta: 1,34 mg EAE/g Producto final: 0,91 mg EAE/g Antocianinas Frutas congeladas: 7,23 mg EC3G/g Pulpa tamizada: 8,70 mg EC3G/g Residuos gruesos: 0,85 mg EC3G/g Pulpa pasteurizada: 9,60 mg EC3G/g Residuos finos: 5,05 mg EC3G/g Pulpa congelada: 10,61 mg EC3G/g Jugo descongelado: 10,94 mg EC3G/g Bebida a base de fruta: 1,13 mg EC3G/g Producto final: 0,98 mg EC3G/g
[20]1	Técnica Folin-Ciocalteu Frutas congeladas: 31,41 mg EAG/g Pulpa tamizada: 44,22 mg EAG/g Residuos gruesos: 11,37 mg EAG/g Pulpa pasteurizada: 50,30 mg EAG/g Residuos finos: 41,34 mg EAG/g Pulpa congelada: 50,97 mg EAG/g Jugo descongelado: 54,06 mg EAG/g Bebida a base de fruta: 5,29 mg EAG/g Producto final: 4,90 mg EAG/g			
[30]2		Técnica ORAC 238,89 μmol ET/g		Técnica HPLC-DAD Elagitaninos 3,39 mg EAE/g Antocianinas 2,44 mg EC3G/g

[21]

Técnica HPLC-DAD Elagitaninos
 Extracción: 18,87 mg EAE/g
 Clarificación: 15,46 mg EAE/g
 Finalizador de frutas: 15,89 mg
 EAE/g Prensado discontinuo: 4,37
 mg EAE/g Enzima con prensado
 discontinuo: 7,99 mg EAE/g 4
 Enzima con prensado discontinuo y
 clarificado: 6,85 mg EAE/g
 Prensado continuo: 16,71 mg EAE/
 g Enzima con prensado continuo:
 18,09 mg EAE/g 4 Enzima con
 prensado continuo y clarificado:
 9,99 mg EAE/g Antocianinas
 Extracción: 7,62 mg EC3G/g
 Clarificación: 10,36 mg EC3G/g
 Finalizador de frutas: 11,02 mg
 EC3G/g Prensado discontinuo:
 7,03 mg EC3G/g Enzima con
 prensado discontinuo: 12,24 mg
 EC3G/g 4 Enzima con prensado
 discontinuo y clarificado: 14,02 mg
 EC3G/g Prensado continuo: 10,97
 mg EC3G/g Enzima con prensado
 continuo: 13,51 mg EC3G/g 4
 Enzima con prensado continuo y
 clarificado: 12,75 mg EC3G/g
 Técnica HPLC-DAD Elagitaninos
 3,39 mg EAE/g Antocianinas 2,44
 mg EC3G /g

[31]2

	Técnica Folin-Ciocalteu Fruta: 32,06 mg EAG/g Extracción: 289,92 mg EAG/g Concentración térmica al vacío: 274,35 mg EAG/g Retenido de la Ultrafiltración: 337,11 mg	Técnica HPLC-DAD Elagitaninos Fruta: 7,75 mg EAE/g Extracción: 55,47 mg EAE/g Concentración térmica al vacío: 54,21 mg EAE/g Retenido de la Ultrafiltración: 78,27 mg EAE/g Permeado de la ultrafiltración: 22,70 mg EAE/g Polvo del extracto: 5,94 mg EAE/g Polvo del concentrado: 7,24 mg EAE/g Polvo del retenido ultrafiltrado: 5,40 mg EAE/g Antocianinas Fruta: 2,83 mg EC3G/g Extracción: 8,08 mg EC3G/g Concentración térmica al vacío: 7,80 mg EC3G/g Retenido de la Ultrafiltración: 6,87 mg EC3G/g Permeado de la ultrafiltración: 5,45 mg EC3G/g Polvo del extracto: 0,85 mg EC3G/ g Polvo del concentrado: 1,24 mg EC3G/g Polvo del retenido ultrafiltrado: 0,71 mg EC3G/g Compuestos polifenólicos
[33]	EAG/g Permeado de la ultrafiltración: 111,63 mg EAG/g Polvo del extracto: 29,57 mg EAG/g Polvo del concentrado: 41,86 mg EAG/g Polvo del retenido ultrafiltrado: 30,88 mg EAG/g	
Cita	Polifenoles totales	Capacidad antioxidante
Investigaciones que realizaron pruebas in vitro de la mora		
	Técnica Folin-Ciocalteu Extracto crudo: 22,35 mg EAG/g Extracto rico en polifenoles: 115 mg EAG/g	Técnica ORAC Extracto crudo: 316,95 $\mu\text{mol TE/g}$ Extracto rico en polifenoles: 3286,25 $\mu\text{mol TE/g}$
[35]4	Extracto rico en antocianinas: 277,95 mg EAG/g Extracto rico en proantocianidinas: 546,7 mg EAG/g	Extracto rico en antocianinas: 4596,05 $\mu\text{mol TE/g}$ Extracto rico en proantocianidinas: 4063,75 $\mu\text{mol TE/g}$
[36]	Técnica Folin-Ciocalteu Jugo fresco: 45,0 mg EAG/ g Jugo microfiltrado: 24,9 mg EAG/g	Técnica IC50 DPPH Jugo fresco: 101,2 $\mu\text{g/ml}$ Jugo microfiltrado: 94,08 $\mu\text{g/ml}$ Técnica ORAC Jugo fresco: 547 $\mu\text{mol ET/g}$ Jugo microfiltrado: 417 $\mu\text{mol ET/g}$
[37]1		Técnica ORAC 127,74 $\mu\text{mol ET/g}$
[39]1,3		Técnica HPLC-DAD Elagitaninos Microfiltrado: 12,61 mg EAE/g Ultrafiltrado: 21,93 mg EAE/g Antocianinas Microfiltrado: 5,04 mg EC3G/g Ultrafiltrado: 8,77 mg EC3G/g

[42]	Técnica Folin-Ciocalteu Fruta: 37,2 mg EAG/g Pulpa: 29,0 mg EAG/g Jugo microfiltrado: 28,9 mg EAG/g Jugo diafiltrado: 22,9 mg EAG/g	Capacidad antioxidante Investigaciones que realizaron pruebas in vivo de la mora	Técnica HPLC-DAD Elagitaninos Fruta: 7,4 mg EAE/g Pulpa: 3,0 mg EAE/g Jugo microfiltrado: 0,4 mg EAE/g Jugo diafiltrado: 0,6 mg EAE/g Antocianinas Fruta: 11,8 mg EC3G/g Pulpa: 11,4 mg EC3G/g Jugo microfiltrado: 8,2 mg EC3G/g Jugo diafiltrado: 8,2 mg EC3G/g Compuestos polifenólicos
[44]2,3			Técnica UPLC-DAD/ESI-Q- TOF/MS Elagitaninos 4,77 mg EAE/g
[45]1,3,5	Técnica Folin-Ciocalteu 34,03 mg EAG/g	Técnica ORAC 398,53 μmol ET/g	
[46]	Técnica Folin-Ciocalteu 20,85 mg EAG/g	Técnica ORAC 311 μmol ET/g	Técnica Método diferencial de pH Antocianinas 10,51 mg/g
[47]1,3,5	Técnica Folin-Ciocalteu 63,09 mg EAG/g	Técnica ORAC 325,56 μmol ET/g	Técnica HPLC-DAD Elagitaninos 15,93 mg EAE/g Antocianinas 12,84 mg EC3G/g



Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=699877759014>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la
academia

Alexander Schmidt-Durán, Mario Rodríguez-Monroy,
Oscar Acosta-Montoya

**La mora tropical de altura (*Rubus adenotrichos* Schltdl.)
como potencial alimento funcional: una mirada a las
investigaciones realizadas**

The tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichos*
Schltdl.) as a potential functional food: a look at the research
carried out

Tecnología en marcha

vol. 37, núm. 1, p. 128 - 148, 2024

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
revistatm@itcr.ac.cr

/ ISSN-E: 2215-3241