

Actividad antifúngica de antioxidantes derivados de cuatro cultivares de *Capsicum* spp. contra hongos fitopatógenos

Antifungal activity of antioxidants derived from four cultivars of *Capsicum* spp. against phytopathogen fungi

Nancy Raquel López-Muñoz¹, Mirella Romero-Bastidas^{1*}, Pablo Misael Arce-Amézquita¹, José Saúl Hernández-Rubio¹

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur, Carretera al Sur KM 5.5, Colonia el Mezquitito, CP. 23080, La Paz, Baja California Sur, México.

*Autor de correspondencia: miromero@uabcs.mx.

Artículo científico recibido: 08 de marzo de 2019 aceptado: 20 de junio de 2019

RESUMEN. El cultivo de chile, además del uso culinario posee actividad antimicrobiana, debido a la acción de antioxidantes. Por lo que es de interés en la producción agrícola, como alternativa en el manejo de enfermedades en plantas. El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad antioxidante de cuatro variedades de chile y su efecto antifúngico contra *Fusarium andiyazi* y *Cochliobollus* spp., ambos son patógenos severos en el cultivo de espárrago y albahaca. A partir de muestras de frutos de chile habanero, jalapeño, serrano y morrón, se obtuvieron extractos etanólicos, donde se determinó su capacidad antioxidante. La acción antifúngica, se evaluó mediante dos técnicas; la prueba de zona de inhibición en PDA y la germinación de esporas en caldo de papa-dextrosa. La actividad de los extractos se evaluó mediante la medición del halo de inhibición, a los cinco días después de la siembra y la germinación de esporas a través de la cuantificación de las mismas a las 48 h. Los resultados indican que el extracto de chile habanero presentó mayor capacidad antioxidante (11.9 mg g⁻¹) y porcentaje de inhibición contra *F. andiyazi* y *Cochliobollus* spp., (55.61 y 82.29%), al tener respuesta similar al fungicida. La acción de inhibición de los patógenos en el resto de los extractos, varió entre éstos independiente de su capacidad antioxidante, donde posiblemente actúen otros compuestos. El extracto de chile habanero es eficaz para controlar *Cochliobollus* spp. y *Fusarium andiyazi*, y puede ser una alternativa para el control de estos fitopatógenos en la agricultura orgánica.

Palabras clave: Control, extractos, fenoles, inhibición, microorganismos.

ABSTRACT. Chili crop, in addition to the culinary use has antimicrobial activity, due to the action of antioxidants. For what is of interest in agricultural production, as an alternative in the management of diseases in plants. The objective of this study was to evaluate the antioxidant capacity of four varieties of chili and its antifungal effect against *Fusarium andiyazi* and *Cochliobollus* spp., both main severe pathogens in the cultivation of asparagus and basil. From samples of habanero, jalapeño, serrano and morrón fruits chili, ethanolic extracts were obtained where their antioxidant level was determined. The antifungal action was evaluated by two techniques; the inhibition zone test in PDA and the germination of spores in potato-dextrose broth. The activity of the extracts was evaluated by measuring inhibition halo at five days after sowing and spore germination through the quantification at 48 h. The results indicate that habanero pepper extract showed higher antioxidant capacity (11.9 mg g⁻¹) and percentage of inhibition against *F. andiyazi* and *Cochliobollus* spp. (55.61 and 82.29%), having a similar response to fungicide. The action of inhibition of the pathogens in the rest of the extracts varied among them independent of their antioxidant capacity, where other compounds possibly act. Habanero pepper extract is effective to control *Cochliobollus* spp. and *Fusarium andiyazi*, and can be an alternative for the control of these phytopathogens in organic agriculture.

Key words: Control, extracts, inhibition, phenols, microorganisms.

INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum*, además de proveer proteínas y minerales necesarias en la dieta humana, posee propiedades terapéuticas y antimicrobianas (Lu et al. 2017). Su efecto, está asociado con la acción de antioxidantes, como fenoles, flavonoides, capsaicinoides, carotenoides, vitaminas, saponinas y terpenoides (Tag et al. 2014, Iqbal et al. 2015). La mayoría de los estudios referentes a estas sustancias, se han dirigido principalmente a problemas de salud humana y poco se ha observado en patógenos relacionados con plantas (Dorantes et al. 2000). Una de las principales problemáticas comunes en campo, es el daño causado por enfermedades fúngicas (Knogge 1996). Como las provocadas por los hongos *Fusarium andiyazi* y *Cochliobollus* spp., principales patógenos en el cultivo de espárrago y albahaca, respectivamente. Debido a su rápida diseminación y poseen amplio rango de hospederos, lo que ocasiona la aplicación indiscriminada de fungicidas sintéticos para su control (López y Hermann, 2004).

Algunos estudios reportan que las sustancias presentes en los extractos de *Capsicum*, son de especial interés en el ámbito agrícola, para el control de microorganismos fitopatógenos (Corato et al. 2010). Estudios recientes, han comprobado que además de la capsaicina, se destaca la acción antifúngica de los fenoles, uno de los antioxidantes de mayor concentración que interfiere en el metabolismo microbiano, al inhibir su crecimiento (Kabara y Marshall 2005, Bacon et al. 2016). La baja toxicidad de éstas sustancias y su poca persistencia en el ambiente, lo hacen un excelente compuesto para ser empleado en la agricultura orgánica (Mahlo et al. 2010) para la producción de alimentos vegetales, donde hay una demanda creciente de alimentos inocuos; además de que se pretende reducir la contaminación y disminuir la emergencia de nuevas especies resistentes a los agroquímicos (Corato et al. 2010). Debido a lo expuesto anteriormente, los compuestos bioactivos de los extractos de *Capsicum*, podrían ser eficaces en la inhibición de diversas enfermedades fúngicas presentes en plantas cultivadas. Por lo anterior, el

objetivo fue evaluar la actividad antifúngica de antioxidantes derivados del extracto de cuatro cultivares de *Capsicum* spp. en la inhibición de *F. andiyazi* y *Cochliobollus* spp.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizaron muestras de frutos de chile frescos, maduros y firmes de las variedades: habanero (*Capsicum chinense*), serrano (*Capsicum annuum* var. Serrano), jalapeño (*Capsicum annuum* var. Jalapeño) y pimiento morrón (*Capsicum annuum* var. annuum) que se obtuvieron en mercados regionales de La Paz, Baja California Sur, México durante el mes de septiembre del 2018.

Cepas fúngicas

Las cepas de *F. andiyazi* (FA0017) y *Cochliobollus* spp. (CH0016), se obtuvieron de la colección fúngica del Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México. Aisladas previamente de cultivos orgánicos de espárrago y albahaca, respectivamente. Para el análisis *in vitro*, se reactivaron las cepas mediante la toma de una alícuota de cada suspensión, la cual se inoculó en medio de cultivo papa dextrosa agar (Difco) e incubaron a 28 °C por siete días.

Preparación de los extractos vegetales

La obtención de los diferentes extractos, se realizó mediante la metodología propuesta por Alam et al. (2015) con modificaciones. Los frutos de chile se lavaron con agua destilada estéril para eliminar partículas adheridas. La placenta con las semillas se removió y el resto del fruto se cortó en trozos de 0.5 cm. La deshidratación de las muestras de frutos de chile, se llevó a cabo mediante congelamiento por 48 h en un liofilizador (Freezone, series Labconco). Posteriormente, la materia seca se maceró hasta obtener un polvo fino. El extracto etanólico (EE), se obtuvo pesando 7 g de la muestra seca, la cual se colocó en tubos de ensayo de 100 mL, a los que se les añadieron 70 mL del solvente etanol al 96% sin desnaturalizar. Inmediatamente después, cada

muestra se colocó en un sonicador (Branson 5210R-MT, Ultrasonic Cleaner) por 10 min. El sobrenadante fue sujeto a tres subsecuentes extracciones, repitiendo los pasos anteriores. La mezcla final, se filtró con papel filtro Whatman No. 1 (Whatman International) y el solvente se evaporó en un rota-evaporador (Buchi B-480 Waterbath) a 40 °C, hasta su secado total. Para luego almacenar el extracto crudo concentrado a -4 °C hasta su uso.

Determinación de la actividad antioxidante

La capacidad antioxidante en frutos de chile, se determinó con la metodología propuesta por Yamaguchi *et al.* (1998), mediante el reactivo 1,1-Difenil-2-picrilhidrazil (DPPH), como compuesto antioxidante estándar. La curva estándar se obtuvo a partir de diluciones seriadas de una solución stock de 200 ppm de Trolox (6-hydroxy, 2, 5, 7, 8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid). El reactivo de DPPH se preparó, pesando 8 mg de reactivo DPPH, disolviendo en metanol y aforando a 100 ml. Posteriormente se cubrió de la luz. Después de mezclar la solución del antioxidante (100 µL) con la solución de DPPH (1 ml), se dejó reposar por 30 min en oscuridad, antes de hacer la medición. Las lecturas de absorbancia se realizaron a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro (GENESYS™ 10S UV-Vis Spectrophotometer - Thermo Fisher Scientific). Las muestras de extracto de chile, se midieron de la misma manera que el Trolox. El contenido de antioxidantes totales de cada muestra se expresó como mg equivalentes de Trolox por g del extracto etanólico (EE) a través de la curva de calibración con Trolox (mg ET*g⁻¹ EE) (Figura 1).

Cuantificación del contenido total de fenoles

El contenido de fenoles totales en frutos de chile, se determinó por el método de Folin-Ciocalteu (Sigma), propuesto por Alam *et al.* (2015), usando ácido gálico como compuesto fenólico estándar. La curva estándar se obtuvo a partir de diluciones seriadas de una solución stock de ácido gálico de 50 ppm. La mezcla de reacción consistió en mezclar 100 µL de ácido gálico con 250 µL con reactivo de

Folin-Ciocalteu 2N, dejando reposar por 8 min. Posteriormente se agregaron 1250 µL de Na₂CO₃ al 7.5%, y se dejó reposar por 2 h. Las lecturas de absorbancia se realizaron a una longitud de onda de 765 nm en un espectrofotómetro (GENESYS™ 10S UV-Vis Spectrophotometer-Thermo Fisher Scientific). Las muestras de extracto chile se analizaron de la misma manera que el ácido gálico. El contenido de fenoles totales de las muestras, se expresó como mg equivalentes de ácido gálico por gramo del extracto a través de la curva de calibración con ácido gálico (mg GAE*g⁻¹ EE) (Figura 1).

Evaluación *in vitro* de la actividad antifúngica

Preparación del inóculo

Para la preparación del inóculo fúngico utilizado con los extractos, se colectaron las esporas de los hongos presentes en las placas con agar, después de siete días de crecimiento, como lo describe Broekaert *et al.* (1990). La concentración de suspensión de esporas se estimó con una cámara de conteo, donde se cuantificó el número de esporas por mililitro de cada patógeno a evaluar.

Inhibición del crecimiento micelial con el método de difusión de pozo en agar

La actividad antifúngica de los cuatro extractos de chile, sobre el crecimiento micelial de los patógenos a evaluar, se determinó mediante la técnica de pozo en agar, propuesta por Ríos *et al.* (1988), la cual consiste en inocular por difusión, para lo cual se tomaron 100 µL de la suspensión de esporas previamente preparada a concentración de 1x10⁷ esporas mL⁻¹ de cada patógeno y se sembraron en medio de PDA. Posteriormente se realizaron cuatro perforaciones equidistantes de 5 mm de diámetro en cada una de las placas, donde se colocaron 50 µL de extracto de chile en concentraciones de 300 ppm, como control negativo se utilizaron pozos que contenían 50 µL de agua destilada estéril, mientras que control positivo fue el fungicida comercial Captan (1% N-trichloromethylthio-4-cyclohexano-1,2-dicarboximida) a 0.2 mg mL⁻¹. Las placas se incubaron a 28 ± 2°C y después de cinco días, se

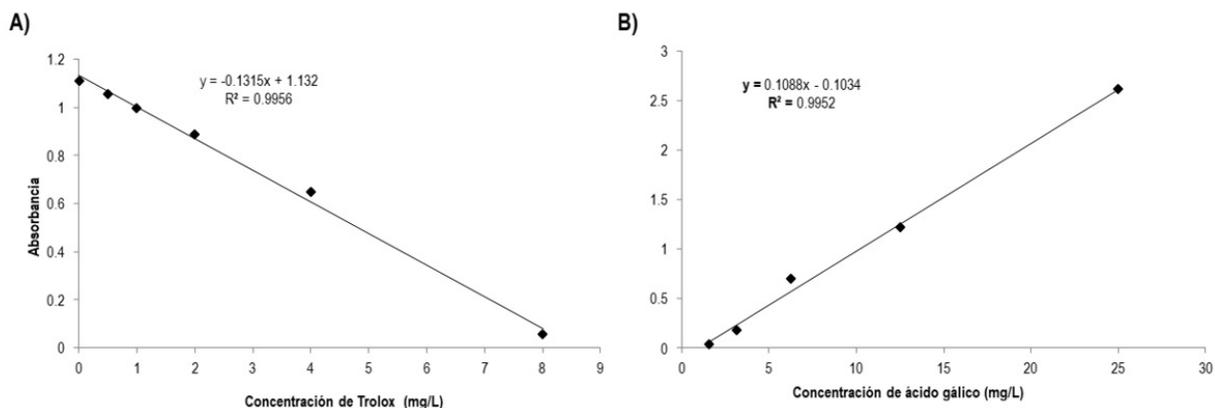


Figura 1. Curva estándar de inhibición de A) DPPH con trolox y contenido de fenoles (B).

determinó la actividad antifúngica de los extractos, al medir el diámetro de la zona de inhibición micelial en centímetros alrededor de los pozos.

Efecto de los extractos en la germinación de esporas

El efecto de los extractos de chile, sobre la germinación de esporas, se realizó mediante la técnica del conteo de esporas germinadas en medio líquido, propuesta por Hadi *et al.* (2013). Para lo cual se tomaron 100 μ l de cada uno de los extractos, así como los tratamientos control, que se disolvieron en matraces que contenían 100 mL de medio líquido de papa-dextrosa. Posteriormente, un disco de 0.5 cm de diámetro con crecimiento activo de *F. andiyazi* o *Cochliobolus* spp. se colocó en matraces que se sellaron y agitaron en un Shaker (150 rpm) (Brinkmann Rockermix 1030). A las 48 h posteriores, se tomó una alícuota de 10 μ l de cada tratamiento y se cuantificó el número de esporas germinadas, mediante el uso del microscopio óptico (Labomed LX 400) y una cámara de conteo. La eficacia de los extractos, se expresó como porcentaje de inhibición de esporas germinadas, mediante la fórmula propuesta por Dissanayake (2014):

$$\% \text{ inhibición} = [(C - T)/C] \times 100$$

Dónde: C y T, representan las esporas germinadas del control (C) y de los tratamientos (T) con los ex-

tractos, respectivamente.

Diseño experimental

Los resultados obtenidos de cada uno de los experimentos, se analizaron estadísticamente mediante un diseño completamente al azar, con tres repeticiones, realizándose análisis de varianza y comparación múltiple de medias de Tukey, mediante el paquete de diseños experimentales GraphPad Prism v.7.

RESULTADOS

Propiedades antioxidantes de extractos de *Capsicum* spp.

Para obtener una perspectiva completa del potencial antioxidante de los diferentes cultivares de chile habanero, serrano, jalapeño y morrón, se llevaron a cabo ensayos para evaluar la eliminación de radicales libre y el poder reductor total (Tabla 1). Todas las especies de chile, mostraron actividad antioxidante. Pero el extracto de chile serrano mostró el menor valor, al presentar 7.94 mg g⁻¹ de antioxidantes, mientras que la mayor actividad lo presentó el extracto de chile habanero con 11.9 mg g⁻¹, seguido del chile de morrón (9.10 mg g⁻¹) y el chile jalapeño (8.59 mg g⁻¹). Los resultados muestran que el extracto obtenido del pericarpio de chile habanero, fue el mejor en relación al contenido de antioxidantes.

Tabla 1. Fenoles y actividad antioxidante de cuatro variedades de *Capsicum* spp.

Especie de <i>Capsicum</i>	Tipo	Actividad antioxidante (mg g ⁻¹)	Fenoles Totales (mg g ⁻¹)
<i>C. chinense</i>	Habanero	11.9	43.63
<i>C. annuum</i>	Serrano	7.94	30.22
<i>C. annuum</i>	Jalapeño	8.59	46.76
<i>C. annuum</i>	Morrón	9.10	44.37

Contenido fenólico de los cuatro cultivares de *Capsicum* spp.

El contenido de fenoles totales (CFT), se determinó por la prueba de Folin-Ciocalteu, de muestras liofilizadas del pericarpio de frutos de Chile. El análisis del CFT, indica variaciones entre los extractos etanólicos (EE) de las muestras de *Capsicum* (Tabla 1). El mayor contenido de fenoles totales se encontró en el extracto de Chile jalapeño, con 46.76 mg g⁻¹, mientras que en orden de importancia le siguió el pimiento morrón (44.76 mg/g⁻¹) y habanero (43.63 mg g⁻¹); mientras que el serrano tuvo el menor contenido (30.22 mg g⁻¹).

Actividad antifúngica de los extractos

El análisis de varianza indica que los cuatro extractos etanólicos de *Capsicum*, tienen potencial antifúngico contra los hongos patógenos evaluados. Pero su efectividad en la inhibición del crecimiento micelial mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los extractos (Figura 2 y 3), ya que solo uno tuvo una marcada inhibición fúngica. Para el Chile habanero se observó mayor inhibición de *F. andiyazi* y *Cochliobollus* spp., con halo de inhibición de 1.78 y 1.96 cm. La respuesta expresada en el tratamiento de Chile habanero, no tuvo diferencias significativas con el tratamiento del fungicida comercial (1.96 y 2.55 cm), lo que demuestra que la eficacia de este extracto vegetal fue igual al del producto sintético que comúnmente se utiliza en campo. Mientras que los extractos de Chile jalapeño (1.47 y 1.66 cm), serrano (1.45 y 1.85 cm) y morrón (1.34 y 1.1 cm), presentaron menor inhibición en ambos patógenos. Al comparar la respuesta de los dos microorganismos patógenos sobre el efecto de los extractos de *Capsicum* y el fungicida, se observó que *Cochliobollus* spp. fue más susceptible a este tipo de sustancias, al mostrar un

mayor diámetro de la zona de inhibición comparado con la respuesta de *F. andiyazi* a los mismos compuestos (Figura 4).

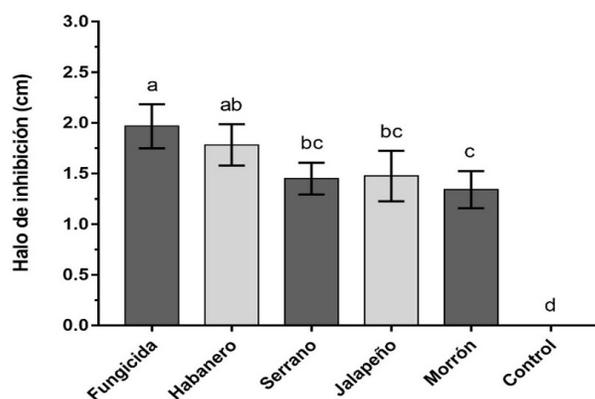


Figura 2. Extractos de *Capsicum* contra *F. andiyazi*.

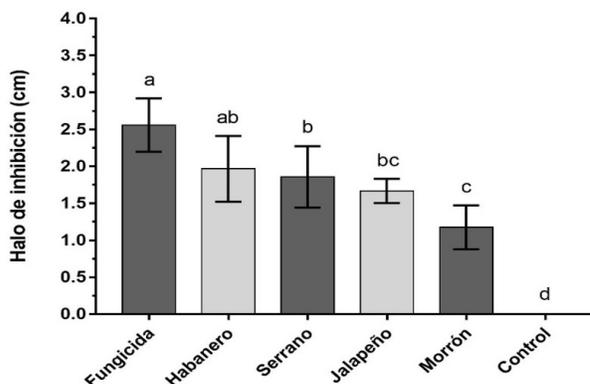


Figura 3. Extractos de *Capsicum* contra *Cochliobollus* spp.

Inhibición de la germinación de esporas

Entre los extractos de *Capsicum* evaluados, se observó que en el caso de *F. andiyazi*, los extractos de Chile morrón, habanero y jalapeño, presen-

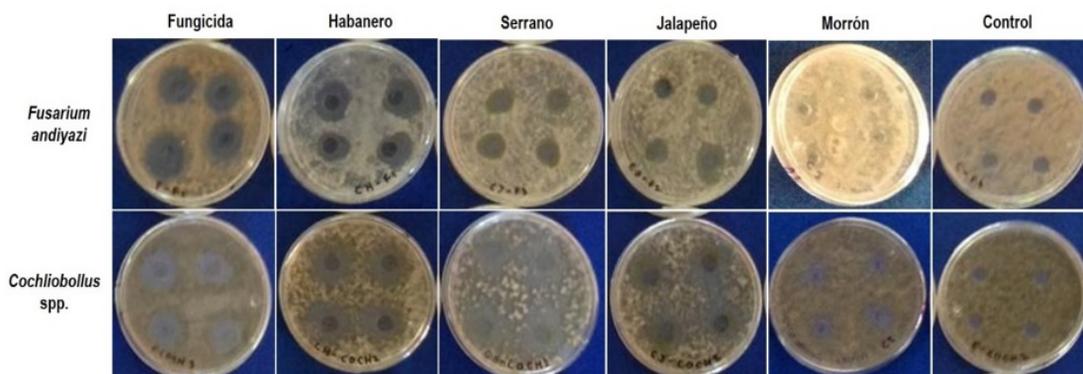


Figura 4. Bioensayo *in vitro* del efecto de extractos de *Capsicum* contra *F. andyazi* y *Cochliobollus* spp.

taron mayor inhibición en la germinación de esporas al mostrar 64.87, 55.61 y 53.17%, respectivamente. Éstos no presentaron diferencias significativas con respecto al tratamiento del fungicida (74.63%), demostrando similitud en la efectividad antifúngica de dicho patógeno (Tabla 2). Mientras que, en el caso del extracto de chile serrano, éste solo presentó un porcentaje de inhibición de 9.75%, siendo el que menor efecto tuvo contra la germinación de esporas de *F. andyazi*.

Tabla 2. Efecto de extractos de *Capsicum* spp. en la inhibición de la germinación de esporas.

Tratamientos	Inhibición de la germinación de esporas (%)	
	<i>Fusarium andyazi</i>	<i>Cochliobollus</i> spp.
Habanero	55.61a	82.29a
Serrano	9.75b	79.16a
Jalapeño	53.17a	44.79b
Morrón	64.87a	72.91ab
Fungicida	74.63a	88.54a

*Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

El efecto de los extractos de *Capsicum* en la germinación de esporas del hongo *Cochliobollus* spp. fue variable. Los resultados mostraron que el extracto de chile habanero (82.29%) y serrano (79.16%) fueron iguales estadísticamente junto con el fungicida comercial (88.54%), al presentar mayor efecto de inhibición sobre el hongo. Sin embargo, estos tratamientos mostraron diferencias significativas con los extractos de chile morrón (72.91%) y jalapeño (44.79). Al comparar el efecto de cada extracto, entre

el crecimiento micelial y la germinación de esporas de *F. andyazi* y *Cochliobollus* spp. se observó que el mayor efecto antifúngico, se presentó sobre el hongo *Cochliobollus* spp. al mostrar más susceptibilidad a estos tipos de compuestos. No así en el caso de *F. andyazi*, debido probablemente a que este último, es uno de los géneros más comunes en las plantas y el que está mayormente expuesto a diversas sustancias naturales o sintéticas, lo que le confiere algún tipo de tolerancia.

DISCUSIÓN

Diversos estudios indican que el chile habanero, es uno de los del genero de *Capsicum* que presenta mayor cantidad de compuestos antioxidantes, por ello, su consumo en diferentes tipos de presentaciones, es de gran importancia (Gurnani et al. 2016). Lo que se corroboró, ya que dentro de los diferentes extractos de *Capsicum* evaluados, el extracto de chile habanero presentó la mayor concentración de antioxidantes. Resultados similares fueron reportados por Castro-Concha et al. (2014), al evaluar por separado la capacidad antioxidante del pericarpio y la placenta de dos variedades de chile habanero (naranja y rojo) y encontraron que el chile habanero color naranja presentó mayor actividad antioxidante en el pericarpio y la placenta, pero este último tejido, superó cinco veces la capacidad antioxidante que el pericarpio. Esta respuesta podría deberse a que en la placenta se encuentran adheri-

das las semillas, las cuales poseen la mayor concentración de fitoquímicos, como carotenoides, vitaminas, compuestos fenólicos y capsaicinoides (Castro-Concha *et al.* 2012). También se observó que algunos extractos con menor contenido de fenoles, tuvieron menor capacidad antioxidante, como el caso del chile serrano, que presentó la menor cantidad de compuestos en el pericarpio y la placenta. En tanto en el resto de los extractos, dicha relación no fue concisa, ya que, en el caso del chile habanero, la actividad antioxidante fue mayor, pero no el contenido de fenoles. Este tipo de respuestas, podría estar relacionada a que no todas las plantas presentan una relación en la misma cantidad de estos compuestos, y a la vez pueden no presentar la misma función biológica durante los procesos relacionados a mecanismos fisiológicos de cada especie como lo menciona Gambacorta *et al.* (2009), al reportar que algunos tipos de fenoles, presentan acción protectora contra algunas enfermedades, mientras que otros contribuyen a dar forma, textura y color en frutos y plantas. Al respecto Gougoulis *et al.* (2012), mencionan que en el caso de los compuestos fenólicos, son considerados metabolitos secundarios que las plantas sintetizan directamente para adaptarse frente a condiciones de estrés. Sobre lo mismo Núñez-Ramírez *et al.* (2011), mencionan que las técnicas y los sistemas de cultivo, así como la fertilización, riego y variedad afectan los niveles de la actividad antioxidante en el cultivo de chile.

Estos resultados concuerdan con los de Bertão *et al.* (2016), quienes determinaron relación entre el contenido de compuestos bioactivos de diferentes genotipos de *Capsicum* (*C. annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L. y *C. praetermissum*) y su actividad antioxidante, encontrando que no todos tienen relación. Por el contrario Lee *et al.* (1995), observaron correlación lineal entre la concentración de fenoles y la actividad antioxidante en chiles, principalmente de tipo habanero. Para el contenido de fenoles, se observó una concentración variable en cada extracto de *Capsicum* spp., presentando el chile serrano la menor concentración. Lo que difiere de lo reportado por Cerón *et al.* (2016) quienes señalan que el chile serrano tuvo mayor con-

tenido fenólico (144 mg 100 g⁻¹ GAE) que el chile habanero (34 mg 100 g⁻¹ GAE). De forma contraria, en los resultados obtenidos en los tratamientos del extracto de chile morrón y jalapeño, se observó que éstos presentaron la mayor concentración de compuestos fenólicos. Esta diferencia de concentración, podría estar ligada al estado de madurez de los diferentes tipos de chiles, los cuales la mayoría normalmente se consumen inmaduros. Al respecto, Marinova *et al.* (2005) y Navarro *et al.* (2006), encontraron que las frutas en la etapa de maduración verde representan más concentración de fenoles en sus tejidos que en estado maduro. De forma contraria Conforti *et al.* (2007) estudiaron la actividad antioxidante de chiles verdes y rojos de *C. annuum* L. var. *Acuminatum*, y encontraron que la concentración de compuestos orgánicos incrementó conforme los chiles alcanzaron la madurez. Así mismo, otros autores han encontrado que la concentración de dichas sustancias depende del cultivar y no de su estado fisiológico (Howard *et al.* 2000). Estos resultados coinciden con los reportados por Medina-Juárez *et al.* (2012), los cuales evaluaron el contenido total de fenoles en chile anaheim, morrón, caribe, jalapeño y serrano y encontraron que el extracto de chile morrón presentó el mayor nivel. Los diferentes niveles de fenoles totales obtenidos, también pueden atribuirse a las diversas especies de *Capsicum* seleccionadas, así como el procedimiento y los tipos de estándares utilizados, tal como lo señala Vashisth *et al.* (2011), quienes indican que para algunas variedades de chile, la deshidratación por congelamiento incrementa la porosidad del tejido, lo que provoca mayor eficiencia de extracción de compuestos fenólicos. Esto concuerda con los estudios realizados por Materska (2014), quien determinó el impacto del proceso de enfriamiento en el contenido de fitoquímicos en la placenta y pericarpio de diferentes variedades de chile (*C. annuum* var. Red Knight, *C. annum* var. Shanghai, *C. annuum* var. Socrates y *C. annuum* var. Capel) y observó que el mayor CFT se presentó en el pericarpio. Resultados contrarios son reportados por Ornelas-Paz *et al.* (2010), los cuales analizaron el contenido de fenoles totales por el método de cocción

en muestras de chile poblano, bell, chilaca, caribe, jalapeño, serrano, habanero y manzano, concluyendo que se incrementó de forma secuencial en el CFT. Al respecto Loizzo *et al.* (2015), confirman que esta variación de respuestas indica que no todas las especies de chile son sensibles al mismo tipo de procesamiento, lo que puede tener impacto en el contenido de compuestos bioactivos. Así mismo, los resultados mostraron que el contenido de fenoles no está relacionado con la pungencia de la variedad de chile en estudio, la cual aunque no se determinó, si se conoce el nivel de Capsaicinoides. Como lo confirma Aguiar *et al.* (2016), quienes no reportan correlación entre el total de capsaicinoides y el contenido de fenoles totales, los cuales varían con el estado de madurez del fruto y color.

Las propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antialérgicas, antibacteriales y antimutagénicas, varía con la especie de *Capsicum*. Lo que está relacionado con la expresión de compuestos como, carotenoides, capsaicinoides y vitaminas (Loizzo *et al.* 2015). Los extractos de *Capsicum* spp. mostraron una respuesta antifúngica diversa en el control de hongos fitopatógenos. La comparación de la inhibición del crecimiento micelial de los extractos de chile y su respectiva concentración de compuestos fenólicos y antioxidantes, mostró, que el chile habanero, tuvo efecto dependiente de la concentración de antioxidantes, pero en el resto de los extractos no se encontró esta relación. Esto podría deberse al estado de maduración avanzada que presentaban dichos frutos y/o a la diferencia de coloración de su pulpa o tejidos, donde se ha señalado previamente la influencia de estas características en el contenido de este tipo de sustancias. Lo que indica que la actividad antifúngica del extracto de chile habanero fue mayor, debido probablemente al incremento de la concentración de compuestos antioxidantes. Lo que concuerda con lo reportado con Pan y Wang (2010), quienes señalan que el incremento de compuestos antioxidantes se correlacionan con el incremento de la tolerancia a diversos tipos de estrés. Estudios previos, han establecido que el extracto de chile habanero contiene numerosos compuestos con actividad antioxidante incluyendo

β -carotenos, alcaloides, fenoles y ácido ascórbico (Shahidi 2000). Este tipo de compuestos antioxidantes podrían estar implicados en la supresión del crecimiento fúngico al dañar su metabolismo celular, como lo menciona Govindappa *et al.* (2011), quienes reportaron la actividad antifúngica de antioxidantes derivados de *Crotalaria pallida* Aiton contra diferentes hongos fitopatógenos, incluyendo a *A. nidulans*, *A. flaviceps*, *F. solani*, *F. oxysporum*, *F. verticilloides*, y *N. oryzae*, atribuyendo la inhibición positiva a la presencia de compuestos polifenoles, como alcaloides, flavonoides, taninos, esteroides, terpenoides, fenoles y saponinas. Sobre lo mismo Srinivasan y Sarada (2012), encontraron resultados similares al reportar la actividad antifúngica de derivados de fenoles aislados de *Psoralea corylifolia* contra *F. oxysporum*, *F. moniliforme* y *F. graminearum*. Mientras que Gurnani *et al.* (2016), evaluaron la actividad antimicrobiana y potencial antioxidante de semillas de *Capsicum frutescens*, encontrando una asociación entre la extracción de compuestos antioxidantes y la eficaz inhibición de los microorganismos patógenos evaluados, como *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*, *C. krusei*, *Alternaria alternata* y *Aspergillus niger*.

Para los fenoles, diversos estudios han confirmado que muchos compuestos fenólicos poseen acción antimicrobiana. Su principal función es como precursores para la formación de polímeros estructurales como la lignina y moléculas de señalización (Akila *et al.* 2011). Diversos reportes indican que estos compuestos alteran la funcionalidad de la membrana (Lanciotti *et al.* 2014). Al respecto Cruz-Rodríguez (2017), asociaron el efecto de los compuestos fenólicos aislados del extracto de *Crotalaria longirostrata* con la efectiva inhibición del crecimiento micelial y esporulación de *F. verticillioides* y *A. flavus*, debido a la inactivación de enzimas celulares. Sobre lo mismo Guzman de Peña (1998), señalan que cuando la enzima decarboxilasa ornitina es inhibida, el micelio y la esporulación sexual y asexual se bloquean, lo cual induce estrés en la membrana celular y conduce a reacciones que suprimen las proteínas relacionadas con el crecimiento celular, el desarrollo

de hifas y la germinación de esporas. Otros estudios indican que los compuestos fenólicos inhiben el crecimiento celular a través de la desestabilización de la homeostasis celular redox y/o el sistema antioxidación (Hernández-Ortega *et al.* 2011). De la misma manera, estudios realizados por Wilson *et al.* (1997), informaron que los compuestos derivados de aceites esenciales de las variedades de *C. annum*, *C. chinense* y *C. frutescens* presentan alta actividad antifúngica al inhibir un 99% la germinación de esporas de *Botrytis cinerea*. Así mismo Rodríguez *et al.* (2015), reportaron la eficacia de extractos fenólicos derivados de chile chiltepin sobre la inhibición de *F. oxysporum* y *A. alternata*, señalando que esta respuesta podría deberse a la formación de complejos con proteínas solubles y extracelulares, generando una disrupción de la pared celular de los hongos. Además de inhibir las rutas enzimáticas vitales, como, el sistema P450 dependiente de oxidasa, mediante el bloqueo de las enzimas hidrolasas

esteroides (Treutter 2005).

CONCLUSIONES

El extracto de chile habanero, presenta mayor concentración de antioxidantes y actividad antifúngica sobre el crecimiento micelial y la inhibición de la germinación de esporas de *F. andiyazi* y *Cochliobolus* spp. Mientras que el mayor contenido de fenoles se presentó en el extracto de chile jalapeño, pero con menor actividad antifúngica. Estos resultados sugieren que algunos extractos de *Capsicum* spp. son una buena fuente de compuestos antioxidantes para la obtención de sustancias con acción antifúngica y posiblemente contra otras enfermedades microbianas. Los resultados muestran la posibilidad de usar extractos derivados de *Capsicum* spp. para el desarrollo de métodos ecológicos en el control de hongos fitopatógenos.

LITERATURA CITADA

- Aguiar AC, Pereira CJ, Fernandez BG, Teixeira GH, Martínez J (2016) Comparative study of capsaicinoid composition in *Capsicum* peppers grown in Brazil. *International Journal of Food Properties* 19: 1292-1302.
- Akila R, Rajendran L, Harish S, Saveetha K, Raguchander T, Samiyappan R (2011) Combined application of botanical formulations and biocontrol agents for the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) causing Fusarium wilt in banana. *Biological Control* 57: 175-183.
- Alam MA, Juraimi AS, Rafii MY, Hami AA, Aslani F, Alam MZ (2015) Effects of salinity and salinity-induced augmented bioactive compounds in purslane (*Portulaca oleracea* L.) for possible economical use. *Food Chemistry* 169: 439-447.
- Bacon K, Boyer R, Denbow C, O'Keefe S, Neilson A, Williams RC (2016) Evaluation of different solvents to extract antibacterial compounds from Jalapeno peppers. *Food Science & Nutrition* 5: 497-503.
- Bertão MR, Moraes MC, Palmieri DA, Pereira SL, Gonçalves DRM (2016) Cytotoxicity, genotoxicity and antioxidant activity of extracts from *Capsicum* spp. *Research Journal of Medicinal Plants* 10: 265-275.
- Broekaert WF, Terras FRG, Cammue BPA, Vanderleyden J (1990) An automated quantitative assay for fungal growth inhibition. *Federation of European Microbiological Societies* 69: 55-60.
- Castro-Concha LA, Canche-Chuc I, Miranda-Ham MDL (2012) Determination of antioxidants in fruit tissues from three accessions of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Journal of the Mexican Chemical Society* 56: 15-18.
- Castro-Concha L, Tuyub-Che J., Moo-Mukul A, Vazquez-Flota F, Miranda-Ham M (2014) Antioxidant capacity and total phenolic content in fruit tissues accessions of *Capsicum chinense* jacq. (Habanero pepper) at different stages of ripening. *The Scientific World Journal*. Article ID 809073. Doi: 10.1155/2014/809073.

- Cerón CTG, Santiesteban-López NA, Acle MR (2016) Combinación de dos extractos de *Capsicum*: composición y actividad antimicrobiana. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 5: 1-19.
- Conforti F, Statti GA, Menichini F (2007) Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annuum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. *Food Chemistry* 102: 1096-1104.
- Corato U, Maccioni O, Trupo M, Di Sanzo G (2010) Use of essential oil of *Laurus nobilis* obtained by means of a supercritical carbon dioxide technique against post harvest spoilage fungi. *Crop Protection* 29: 142-147.
- Cruz-Rodríguez RI, Meza-Gordillo R, Rodríguez-Mendiola MA, Arias-Castro C, Mancilla-Margalli NA, Ávila-Miranda ME, et al. (2017) Antifungal activity of *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn. extracts against phytopathogen fungi from maize. *Gayana botanica* 74: 167-175.
- Dissanayake MLMC (2014) Inhibitory effect of selected medicinal plant extracts on phytopathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Annual Research & Review in Biology* 4: 133-142.
- Dorantes L, Colmenero R, Hernández H, Mota L, Jaramillo ME, Fernández E, et al. (2000) Inhibition of growth of some food-borne pathogenic bacteria by *Capsicum annum* extracts. *International Journal of Food Microbiology* 57: 125-128.
- Gambacorta G, Baiano A, Previtali MA, Terracone C, La Notte E (2009) Role of antioxidant substances in foods. *Italian Journal of Agronomy* 4: 171-184.
- Govindappa M, Bharath N, Shruthi HB, Sadananda TS, Sharanappa P (2011) Antimicrobial, antioxidant and *in vitro* anti-inflammatory activity and phytochemical screening of *Crotalaria pallida* Aiton. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology* 5: 2359-2371.
- Gougoulias N (2012) Comparative study on the polyphenol content and antioxidant activity of some medicinal plants. *Oxidation Communications* 35: 1001-1010.
- Gurnani N, Gupta M, Mehta D, Kumar MB (2016) Chemical composition, total phenolic and flavonoid contents, and *in vitro* antimicrobial and antioxidant activities of crude extract from red chilli seeds (*Capsicum frutescens* L.). *Journal of Taibah University for Science* 10: 462-470.
- Guzmán de Peña D, Aguirre J, Ruiz HJ (1998) Correlation between the regulation of sterigmatocystin biosynthesis and asexual and sexual sporulation in *Emericella nidulans*. *Antonnie Van Leeuwenhoek* 73: 199-205.
- Hadi M, Kashefi B, Sobhanipur A, Rezaarabsorkhi (2013) Study on effect of some medicinal plant extracts on growth and spore germination of *Fusarium oxysporum* schlecht. *In vitro*. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 13: 581-588.
- Hernández-Ortega A, Luca F, Ferreira P, Medina M, Guallar V (2011) Modulating O₂ reactivity in a fungal flavoenzyme: involvement of aryl-alcohol oxidase phe-501 contiguous to catalytic histidine. *Journal of Biological Chemistry* 286: 41105-41114.
- Howard LR, Talcott ST, Brenes CH, Villalon B (2000) Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural of Food Chemistry* 48: 1713-1720.
- Iqbal E, Salim KA, Lim LBL (2015) Phytochemical screening, total phenolics and antioxidant activities of bark and leaf extracts of *Goniothalamus velutinus* (Airy Shaw) from Brunei Darussalam. *Journal of King Saud University-Science* 27: 224-232.
- Kabara JJ, Marshall (2005) Medium-chain fatty acids and esters. In: Davidson PM, Sofos JN, Branen AL (eds.) *Antimicrobials in food*. Marcel Dekker. New York. pp: 327-360.

- Knogge W (1996) Fungal infection of plants. *The Plant Cell* 8: 1711-1722.
- Lanciotti R, Gianotti A, Patrignani F, Belletti N, Guerzoni ME, Gardini F (2014) Use of natural aroma compounds to improve shelflife and safety of minimally processed fruits. *Food Science & Technology* 15: 201-208.
- Lee Y, Howard LR, Villalón B (1995) Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *Journal of Food Science* 60: 473-476.
- Loizzo MR, Pugliese A, Bonesi M, Menichini F, Tundis R (2015) Evaluation of chemical profile and antioxidant activity of twenty cultivars from *Capsicum annum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum chacoense* and *Capsicum chinense*: A comparison between fresh and processed peppers. *LWT-Food Science and Technology* 64: 623-631.
- López G, Hermann M (2004) El cultivo del ulluco en la sierra central del Perú. CIP. Lima, Perú. 51p.
- Lu A, Onoja U, Onyeke CC, Nweze EI (2017) Antimicrobial activities of four varieties of *Capsicum annuum* fruits cultivated in Southeast Nigeria against multidrug-resistant and susceptible organisms. *Journal of Basic Pharmacology and Toxicology* 1: 21-26.
- Mahlo SM, McGaw LJ, Eloff JN (2010) Antifungal activity of leaf extracts from South African trees against plant pathogens, *Crop Protection* 29: 1529-1533.
- Marinova DF, Ribarova, Atanassova M (2005) Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* 40: 255-260.
- Materska M (2014) Bioactive phenolics of fresh and freeze-dried sweet and semi-spicy pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Functional Foods* 7: 269-277.
- Medina-Juárez LA, Molina-Quijada DMA, Del Toro SCL, González-Aguilar GA, Gámez-Meza N (2012) Antioxidant activity of peppers (*Capsicum annuum* L) extracts and characterization of their phenolic constituents. *Interciencia* 37: 588-593.
- Navarro JM, Flores P, Garrido C, Martínez V (2006) Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry* 96: 66-73.
- Núñez-Ramírez F, González-Mendoza D, Grimaldo-Juárez O, Díaz LC (2011) Nitrogen fertilization effect on antioxidants compounds in fruits of habanero chili pepper (*Capsicum chinense*). *International Journal of Agriculture and Biology* 13: 827-830.
- Ornelas-Paz JJ, Martínez BJM, Ruíz CS, Santana RV, Ibarra JV, Olivas GI, Pérez MJD (2010) Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics content of Mexican peppers. *Food Chemistry* 119: 1619-1625.
- Pang CH, Wang BS (2010) Role of ascorbate peroxidase and glutathione reductase in ascorbate-glutathione cycle and stress tolerance in plants. In: Anjum NA, Umar S, Chan MT (ed). *Ascorbate-glutathione pathway and stress tolerance in plants*. Springer Science. Berlin, Alemania. pp: 91-113.
- Ríos J, Recio M, Villar A (1988) Screening methods for natural products with antimicrobial activity. *Journal of Ethnopharmacology* 23: 127-149.
- Rodríguez MA, Troncoso RR, Sánchez EA, González MD, Ruiz SE, Zamora BR, et al. (2015) Efecto antifúngico de extractos fenólicos y de carotenoides de chiltepín (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) en *Alternaria alternata* y *Fusarium oxysporum*. *Revista Argentina de Microbiología* 47: 72-77.
- Shahidi F (2000) Antioxidant factors in plant foods and selected oil seeds. *BioFactors* 13: 179-185.

- Srinivasan S, Sarada DVL (2012) Antifungal activity of phenyl derivative of pyranocoumarin from *Psoralea corylifolia* L. seeds by inhibition of acetylation activity of trichothecene 3-O-acetyltransferase (Tri101). *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 2012: 1-8.
- Tag HM, Kelany OE, Tantawy HM, Fahmy AA (2014) Potential anti-inflammatory effect of lemon and hot pepper extracts on adjuvant-induced arthritis in mice. *Journal of Basic and Applied Zoology* 67: 149-157.
- Treutter D (2005) Significance of flavonoids in plant resistance and enhancement of their biosynthesis. *Journal of Plant Biology* 7: 581-591.
- Vashisth T, Singh RK, Pegg RB (2011) Effects of drying on the phenolics content and antioxidant activity of *Muscadine pomace*. *LWT - Food in Science & Technology* 44: 1649-1657.
- Wilson C, Solar J, El Ghaouth A, Wisniewski M (1997) Rapid Evaluation of Plant Extract and Essential Oils for Antifungal Activity Against *Botrytis cinerea*. *Plant Disease* 81: 204-210.
- Yamaguchi T, Takamura H, Matoba T, Terao J (1998) HPLC method for evaluation of the free radical-scavenging activity of foods by using 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 62: 1201-1204.