

# Análisis químico-proximal, fitoquímico y potencial bacteriostático de *Eichhornia crassipes*

Chemical-proximal, phytochemical analysis, and bacteriostatic potential, of *Eichhornia crassipes*

López-Medina EN<sup>1</sup>, Álvarez-García R<sup>1</sup>, Téllez-Jurado A<sup>1</sup>, Aguayo-Rojas J<sup>2</sup>, Tovar-Jiménez X<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Posgrado en Biotecnología, Universidad Politécnica de Pachuca, Carr. Pachuca-Cd. Sahagún km 20, Rancho Luna, Ex-Hacienda de Santa Bárbara, CP 43830, Zempoala, Hidalgo, México.

<sup>2</sup> Químico en Alimentos, Universidad Autónoma de Zacatecas, Carr. Zacatecas-Guadalajara km 6, La Escondida, CP 98160, Zacatecas, Zacatecas, México.

## RESUMEN

Una de las preocupaciones de la sociedad son los problemas de salud asociados a la resistencia bacteriana a múltiples fármacos, es por ello, que la búsqueda de productos naturales con actividad antimicrobiana es relevante. En este sentido, se ha demostrado que *Eichhornia crassipes* posee propiedades biológicas. Por lo que, el objetivo del trabajo fue determinar la composición químico-proximal y fitoquímica de extractos de *E. crassipes* obtenidos por Maceración y Soxhlet con la finalidad evaluar su potencial bacteriostático. Los resultados del análisis químico-proximal indicaron que la fracción hoja presenta alta concentración de proteína ( $32.67 \pm 0.25$  %) y holocelulosa ( $65.34 \pm 0.06$  %), mientras que, el análisis fitoquímico de las fracciones evaluadas (hoja (Ho), bulbo (B) y hoja+bulbo (Ho+B)), indica la presencia de flavonoides, fenoles, taninos y saponinas, principalmente. Siendo los extractos acuosos los que presentaron mayor concentración de compuestos fitoquímicos antimicrobianos. Asimismo, el extracto etanólico obtenido por Maceración de la fracción Ho+B (18.53 mm) y el extracto acuoso de la fracción Ho obtenido por Soxhlet (18.40 mm) presentaron mayor inhibición contra *Staphylococcus aureus*, mientras que el extracto etanólico y acuoso obtenido por el método Soxhlet (11.97, 11.93 mm, respectivamente) de la fracción Ho mostraron mayor inhibición contra *Salmonella* sp.

**Palabras clave:** Lirio acuático, composición químico-proximal, fitoquímicos, antimicrobianos.

## ABSTRACT

Currently, public health concerns are bacterial resistance to multiple antibiotics. This has driven the search for natural products with therapeutic effects. In this sense, it has been found that *Eichhornia crassipes*, derived from its phytochemical composition, possesses biological properties. The present study focuses on determining chemical-proximal and phytochemical composition of *E. crassipes* extracts obtained by maceration and Soxhlet and evaluating their bacteriostatic potential. The chemical-proximal composition indicated that leaf fraction presents a high protein ( $32.67 \pm 0.25\%$ ) and holocellulose ( $65.34 \pm 0.06\%$ ) concentrations; phytochemical analysis of different plant fractions (leaf (Ho), bulb (B) and leaf

+ bulb (Ho+B)) indicates mainly the presence of flavonoids, phenols, tannins and saponins. Furthermore, aqueous extracts presented the highest concentration of phytochemical compounds. Ethanolic extract obtained by maceration of Ho+B fraction (18.53 mm) and aqueous extract of Ho fraction obtained by Soxhlet (18.40 mm) showed more significant inhibition against *Staphylococcus aureus*. In contrast, the ethanolic and aqueous extracts obtained by the Soxhlet method (11.97, 11.93 mm, respectively) of Ho fraction showed the highest inhibition against *Salmonella* sp.

**Keywords:** Water hyacinth, chemical proximal composition, phytochemicals, antimicrobials.

## INTRODUCCIÓN

*Eichhornia crassipes* mejor conocido como lirio acuático es considerado como una planta nociva por su gran adaptabilidad en diversos hábitats ya que tiene la capacidad de modificar las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua dulce provocando problemas, debido a que reduce la cantidad de oxígeno disuelto e impide el paso de luz evitando así el crecimiento de la flora y fauna acuática (Kriticos y Brunel, 2016; Gabriel *et al.*, 2018; Su *et al.*, 2018). Para controlar su crecimiento, se han utilizado métodos físicos, mecánicos (acumulación de tejido vegetal en las orillas de los cuerpos de agua), químicos (pesticidas) y biológicos (*Neochetina eichhorniae*) (Reddy *et al.*, 2019). Sin embargo, no son suficientes para su erradicación, además de ser procesos costosos a causa del alto contenido de humedad (~95 %) que presenta, lo que encarece su transporte y disposición (Yan *et al.*, 2017; Reddy *et al.*, 2019). A partir de esto surge la necesidad de desarrollar estrategias para el manejo sustentable del lirio, que permitan sanear y proteger cuerpos de agua en el país. En este sentido, una estrategia puede ser el aprovechamiento de sus propiedades biológicas, ya que empíricamente las hojas, raíces y flores son empleadas como analgésico, antimicrobiano, sedante, etc., debido a la presencia de compuestos fitoquímicos como alcaloides, taninos, flavonoides y compuestos fenólicos (Tyagi *et al.*, 2017). Desde la antigüedad, la población mundial ha empleado plantas para tratar diversos padecimientos. Sin embargo, cada día, el estilo de vida de los países en desarrollo ha ocasionado que se lleven

a cabo cambios en el consumo de alimentos, lo que ha provocado el aumento de enfermedades y una dependencia a la automedicación; aumentando así, la incidencia de problemas como: obesidad, diabetes, hipertensión, enfermedades cardiacas, cáncer y resistencia bacteriana a *Salmonella* sp. y *Staphylococcus aureus* que pueden provocar gastroenteritis, fiebre tifoidea, fiebre escarlata, mastitis, entre otros padecimientos (Mohan *et al.*, 2019; Anand *et al.*, 2019; Shivaee *et al.*, 2021). Por lo que, en la actualidad se están buscando alternativas de origen natural con fines medicinales que puedan ser utilizadas para obtener ingredientes funcionales. Por lo antes mencionado, el objetivo del trabajo fue determinar la composición químico proximal y fitoquímica de extractos de *Eichhornia crassipes* con la finalidad evaluar su potencial bacteriostático.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo y procesamiento de la muestra

El muestreo se realizó en otoño del 2019 en la presa San Antonio Huasca de Ocampo, Hidalgo donde se encontraron plantas jóvenes ya que sólo presentaban bulbos globosos unidos a hojas; una parte de las plantas colectadas se fraccionaron en hoja (Ho) y bulbo (B) y a otra parte solo se les retiró la raíz, esta última fue considerada como hoja+bulbo (Ho+B). Posteriormente, los especímenes se sometieron a secado (40 °C por 48 h), molienda y tamizado en una malla con tamaño de poro de 425 µm, las muestras se codificaron y guardaron en un recipiente hermético en la oscuridad hasta su uso.

### Análisis proximal

El análisis proximal de las fracciones de las plantas se llevó a cabo de acuerdo a la metodología descrita por la Association Official of Analytical Chemists (AOAC, 2002), para lo cual, se cuantificó el contenido de cenizas (No. 923.03), grasas totales (No. 920.39), proteínas totales (No. 960.52), fibra cruda (962.09). Además, se cuantificaron los carbohidratos solubles por diferencia del porcentaje del resto de los componentes.

### Composición química

La composición química de las muestras se llevó a cabo de acuerdo a las normas estandarizadas TAPPI (por sus siglas en inglés, Technical Association of Pulp and Paper Industry), se determinó el contenido de pentosanos (T 233 cm-84, 1984), holocelulosa (T 211 om-93, 1993), celulosa (T 212 cm-12, 2015),  $\alpha$  y  $\beta$ - celulosa (T 203 cm-99, 2015).

### Obtención de extractos

Para la obtención de los extractos se planteó un diseño factorial mixto, los factores evaluados fueron: fracción de la planta (Ho, B y Ho+B), método de extracción (maceración y Soxhlet) y polaridad del solvente (hexano, etanol y agua) (Tabla 1).

En el caso del extracto hexánico y etanólico se tomaron 10 g de harina de *E. crassipes* tamizada y se adicionaron 150 mL del solvente, mientras que, para obtener el extracto

**Tabla 1.** Diseño de experimentos para los extractos.

**Table 1.** Design of experiments of the extracts.

Método	Solvente	Fracción		
		Hoja	Bulbo	Hoja+Bulbo
Maceración	Hexano	M-H-Ho	M-H-B	M-H-Ho+B
	Etanol	M-E-Ho	M-E-B	M-E-Ho+B
	Agua	M-A-Ho	M-A-B	M-A-Ho+B
Soxhlet	Hexano	S-H-Ho	S-H-B	S-H-Ho+B
	Etanol	S-E-Ho	S-E-B	S-E-Ho+B
	Agua	S-A-Ho	S-A-B	S-A-Ho+B

M: Maceración, S: Soxhlet, H: Hexano, E: Etanol, A: Agua, Ho: Hoja, B: Bulbo, Ho+B: Hoja+Bulbo

acuoso, la harina de *E. crassipes* residual del proceso de extracción por Soxhlet con hexano se reutilizó, con la finalidad de aprovechar el residuo y determinar si aún presentaba fitoquímicos con propiedades biológicas, por lo cual, una vez que la muestra se secó a 40 °C por 24 h, se pesaron 10 g de esta harina y se adicionaron 150 mL de agua.

A partir de lo anterior, el proceso de extracción por maceración se llevó a cabo durante 2 h a 180 rpm (agitación orbital), al cabo de este tiempo las muestras se mantuvieron en oscuridad por 8 días a 4 °C. Mientras que, el proceso de extracción por Soxhlet se llevó a cabo a una velocidad de 6 flujos/h durante 20 h para hexano (H), 6 h para etanol (E) y 6 h para agua (A). Posteriormente, se realizaron filtraciones sucesivas con papel filtro estándar y filtro whatman No. 4.

Todos los extractos se sometieron a rotaevaporación para su concentración y finalmente se llevaron a sequedad en una estufa de aire forzado a 40 °C por 48 h. Las muestras se conservaron a 4 °C hasta su análisis.

### Perfil Fitoquímico

A partir de los extractos obtenidos mediante extracción Soxhlet y maceración se determinó la presencia de alcaloides, saponinas, flavonoides totales, fenoles totales, taninos, triterpenos, quinonas, cumarinas y carotenoides siguiendo las recomendaciones de Sarker *et al.* (2006), para su posterior cuantificación.

### Cuantificación fitoquímica

A partir de los extractos obtenidos mediante extracción Soxhlet y maceración se cuantificó el contenido de alcaloides de acuerdo al protocolo de Shamsa *et al.* (2007); el cual consistió en remover las clorofilas con éter etílico, para posteriormente separar los alcaloides de los compuestos fenólicos empleando cloroformo, para finalmente determinar el contenido de alcaloides obteniendo la absorbancia a 420 nm. Los resultados se expresaron en mg cinconina/100 gramos de extracto seco (ges). Mientras que, para el contenido de flavonoides totales se tomaron 0.5 mL de extracto y se adicionó 0.5 mL de una solución etanólica de  $AlCl_3$  al 2 %. Se incubó 1 h a temperatura ambiente y se leyó a una absorbancia de 420 nm. Los resultados se expresaron en mg catequina/100 ges (Kumazawa *et al.*, 2004).

Para determinar el contenido de fenoles totales se tomaron 50 µL de extracto, se adicionaron 800 µL de agua

y 100 µL de Folin-Ciocalteu; se dejaron reposar 8 min y posteriormente se adicionaron 50 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 20 %. Se incubó durante 1 h en oscuridad y se leyó la absorbancia a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg ácido gálico/100 ges (Singleton y Rossi, 1965). Por otra parte, se cuantificó el contenido de taninos por medio del protocolo propuesto por Gbadamosi y Kalejaye (2017); para lo cual, se tomaron 5 mL de extracto y se disolvieron en 20 mL de metanol:agua al 50 %, la mezcla se homogenizó en baño María a 80 °C por 1 h, se filtró y se adicionaron 20 mL de agua con 2.5 mL de Folin-Ciocalteu, 10 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 17 % y se aforó a 100 mL; se mantuvo en reposo 20 min y se leyó la absorbancia a 760 nm. Los resultados se expresaron en mg ácido tánico/100 ges. En cuanto, al contenido de saponinas a 2 mL de extracto se adicionaron 7 mL del reactivo Liebermann-Burchard, se agitó y se dejó en reposo durante 20 min; se leyó la absorbancia a 528 nm. Los resultados se expresaron en mg saponina triterpénica/100 ges (Lozano *et al.*, 2012). Para el caso del contenido de cumarinas se tomaron 24 mg de extracto seco al cual se le adicionaron 50 mL de metanol:agua (80:20), se realizó una segunda dilución, tomando 8 mL de la solución y se aforó a 25 mL con metanol:agua (80:20) y se leyó la absorbancia a 275 nm. Los resultados se expresaron en mg cumarinas/100 ges (Soares e Silva *et al.*, 2012). Finalmente, el contenido de caroteoides se cuantificó, para lo cual a 0.1 g de extracto se le adicionó 1 mL de una solución acetona:etanol (1:1), se dejó reposar 24 h a 4 °C; se filtró y se transfirió a un embudo de separación adicionando 5 mL de hexano y 2.5 mL de agua, se dejó reposar 30 min y se leyó a 470 nm. Los resultados se expresaron en µg de β-caroteno equivalente/100 g, empleando el coeficiente de extinción molar de 2500 del β-caroteno. Se emplea como blanco hexano (Campos *et al.*, 2006). Donde: A= Absorbancia de la muestra, V= Volumen total del extracto, A<sup>1%</sup><sub>1cm</sub> = Coeficiente de absortividad del β-caroteno (2500), Pmx = Peso de muestra en gramos.

$$\mu\text{g de } \beta\text{-caroteno equiv/100g} = \frac{AxVx10^6}{A_{1cm}^{1\%}x100xPmx}$$

### Actividad bacteriostática

La actividad bacteriostática se llevó a cabo mediante el método de difusión en agar, para lo cual, se empleó la bacteria Gram-negativa *Salmonella* sp. y la bacteria Gram-positiva *Staphylococcus aureus*. Para este fin, se preparó un pre-inóculo en caldo nutritivo a 37 °C durante 24 h con agitación a 200 rpm. A continuación, se inocularon placas con agar nutritivo y 150 µL del pre-inóculo ajustado a una densidad óptima de 0.2 (λ = 600 nm), se dispersó homogéneamente usando un asa de Digrafsky. Se impregnaron en discos de 6 mm de diámetro previamente esterilizados 5 µL del extracto (100 mg/mL), los cuales se depositaron simétricamente en placas de Petri usando pinzas esterilizadas, y se incubaron durante 24 h a 37 ± 2 °C para determinar el halo de inhibición. El control positivo para las bacterias fue gentamicina (160 mg/2 mL). Los resultados se expresaron como la zona de inhibición (mm) producida por el extracto (Tovar-Jiménez *et al.*, 2012).

### Análisis estadístico

El análisis de los datos multivariado se llevó a cabo empleando el software estadístico Statistica versión 7.0 con la finalidad de determinar su diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95 %.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis químico-proximal

El análisis proximal (Tabla 2), muestra que el mayor componente presente en la harina de *E. crassipes*, son los carbohidratos (~40 %), seguido del contenido de proteína siendo mayor en Ho (~33 %) y Ho+B (~23 %) que en B (~17 %); en cuanto al contenido de fibra cruda es mayor en B (~21 %) que en Ho (~16 %) y Ho+B (~19 %); para el contenido de cenizas es mayoritario en B (~20 %) que para Ho (~12 %) y Ho+B (~16 %) y finalmente para el contenido de grasas se obtiene (~1 %) para todas las fracciones evaluadas. El análisis estadístico indica que existe diferencia estadísticamente significativa entre cada fracción de la planta y componente evaluado (R<sup>2</sup><sub>ajustada</sub>: 0.9997; p < 0.05). Los resultados obtenidos difieren a lo reportado por Gabriel *et al.* (2018) ya que mencionan que *E. crassipes* presenta ~40 % de carbohidratos, proteína del ~10 al 20 %, fibra cruda del ~28 al 35 %, cenizas ~15 % y grasas del ~1 %, estas diferencias se pueden deber a las condiciones del sitio de muestreo y procesamiento de la muestra, época del año y la edad de la planta como lo menciona Tovar-Jiménez *et al.* (2019), cabe mencionar que aunque ya se ha estudiado los componentes del lirio acuático en diferentes zonas geográficas de México es importante conocer su composición química proximal ya que existen pocos estudios donde se relaciona la época del año con la zona geográfica esto con la finalidad de generar estrategias de aprovechamiento de esta especie, en este sentido, no se encontraron reportes donde se haya analizado las diferentes fracciones del lirio durante otoño en la zona de muestreo de este estudio, así como el estado de madurez de la planta, observando que en general el contenido en proteína, fibra cruda y cenizas es mayor a lo reportado por la literatura (Gabriel *et al.*, 2018; Tovar-Jiménez *et al.*, 2019).

**Tabla 2.** Composición químico-proximal de las diferentes fracciones de *E. crassipes*.

**Table 2.** Chemical - proximate composition of *E. crassipes* fractions.

Componente (%)	Fracción		
	Hoja	Bulbo	Hoja + bulbo
Cenizas	12.09 ± 0.20 <sup>a</sup>	20.22 ± 0.29 <sup>c</sup>	16.41 ± 0.06 <sup>b</sup>
Grasa	1.36 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.76 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.64 ± 0.02 <sup>a</sup>
Proteína cruda	32.67 ± 0.25 <sup>c</sup>	17.21 ± 0.25 <sup>a</sup>	23.16 ± 0.43 <sup>b</sup>
Fibra cruda	15.97 ± 0.17 <sup>a</sup>	21.28 ± 0.19 <sup>c</sup>	18.82 ± 0.30 <sup>b</sup>
Carbohidratos solubles	37.91 ± 0.36 <sup>a</sup>	40.53 ± 0.42 <sup>b</sup>	40.97 ± 0.41 <sup>c</sup>
Pentosanos	9.87 ± 0.06 <sup>a</sup>	9.64 ± 0.14 <sup>a</sup>	9.66 ± 0.11 <sup>a</sup>
Holocelulosa	65.34 ± 0.06 <sup>c</sup>	59.32 ± 0.60 <sup>a</sup>	60.58 ± 0.72 <sup>b</sup>
Celulosa	28.73 ± 0.41 <sup>a</sup>	42.67 ± 0.67 <sup>b</sup>	47.29 ± 0.20 <sup>c</sup>
α-celulosa	25.82 ± 0.47 <sup>a</sup>	40.71 ± 0.37 <sup>b</sup>	44.73 ± 0.44 <sup>c</sup>
β-celulosa	1.77 ± 0.61 <sup>c</sup>	1.02 ± 0.22 <sup>a</sup>	1.45 ± 0.34 <sup>b</sup>

Letras iguales por fila indican que no existe diferencia estadísticamente significativa (p > 0.05)

En la tabla 2 se muestra el análisis químico realizado a la harina de *E. crassipes* donde se observa que el componente mayoritario es la holocelulosa en las fracciones evaluadas (~61 %), seguido del contenido de celulosa, siendo mayor en la fracción Ho+B (~47 %) y B (~43 %) mientras que para Ho (~29 %). Con respecto al contenido de  $\alpha$ -celulosa es mayoritario para Ho+B (~45 %) y B (~41 %) y menor en Ho (~26 %), la cuantificación de  $\beta$ -celulosa es mayor en Ho (~1.8 %) respecto a B (~1 %) y Ho+B (~1.5 %), finalmente en cuanto al contenido de pentosanos en todas las fracciones evaluadas se encuentra alrededor del 9.7 %. El análisis estadístico indica que existe diferencia estadísticamente significativa entre las fracciones de la planta ( $R^2_{ajustada} = 0.9989$ ;  $p < 0.05$ ), excepto para el contenido de pentosanos ( $p > 0.05$ ). Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Das *et al.* (2016) y Lara-Serrano *et al.* (2016) quienes indican que el contenido de celulosa se encuentra en un rango del 10 al 30 %, cabe mencionar que la celulosa es la suma de  $\alpha$ -celulosa y  $\beta$ -celulosa (Yuan *et al.*, 2010) y que las principales diferencias se deben al estado de madurez de la planta, época y zona de muestreo. En cuanto al contenido de pentosanos se reportan valores de 23.7 %, lo cual, es superior a lo encontrado en este trabajo, esto se puede deber a las condiciones y tiempo de reacción para su determinación, al igual que, el estado de madurez de la planta como lo menciona Purbowatingrum *et al.* (2017). No obstante, la composición del lirio acuático sugiere que es una fuente importante de nutrimentos y que para el procesamiento de la planta es importante tomar en cuenta la época del año, zona geográfica y la fracción de la misma.

### Perfil fitoquímico

Los resultados para el análisis cualitativo de metabolitos secundarios presentes en *E. crassipes* se muestran en la Tabla 3, donde se observa que los extractos obtenidos por

maceración y Soxhlet empleando agua fueron positivos para flavonoides y taninos en todas las fracciones de la planta evaluadas, al igual que en los extractos etanólicos obtenidos por Soxhlet. En el caso de alcaloides no se detectó su presencia, mientras que para saponinas y fenoles fueron positivos en los extractos acuosos, también se detectó la presencia de fenoles en los extractos etanólicos obtenidos por Soxhlet. En cuanto a los triterpenos fueron positivos en los extractos acuosos obtenidos por maceración en las tres fracciones de la planta evaluadas, así como, en los extractos hexánicos y etanólicos de bulbo; y en el extracto etanólico Ho+B, de igual forma, los extractos etanólicos de Ho, B y Ho+B obtenidos por Soxhlet fueron positivos.

Se detectó la presencia de quinonas en los extractos etanólicos y acuosos, resultado del proceso de maceración, al igual que, en los extractos hexánicos, etanólicos y acuosos obtenidos por Soxhlet. Para el caso de cumarinas sólo fue negativo en los extractos acuosos obtenidos por los dos métodos de extracción, así como, en el extracto etanólico empleando Soxhlet y la fracción B. Finalmente, los carotenoides no se detectaron en el extracto acuoso empleando maceración y B, además de los extractos acuosos empleando Soxhlet, Ho y Ho+B, así como en el extracto etanólico de bulbo obtenido por Soxhlet.

Los resultados de este estudio coinciden con lo reportado por Prabakaran y Mani (2017) quienes determinaron la presencia de flavonoides, saponinas y triterpenos en el extracto etanólico, mientras que, para el extracto en agua reportan taninos, saponinas, flavonoides, triterpenos y alcaloides, al igual que Kandukuri *et al.* (2019) quienes reportan alcaloides, saponinas, taninos y triterpenos en extractos etanólicos. Baral *et al.* (2011) encontraron saponinas, alcaloides, taninos y triterpenos en extractos con agua. Asimismo, reportan alcaloides en el extracto hexánico (Baral *et al.*, 2011). Por otra parte, Hamid *et al.* (2013) utilizaron un solvente no

**Tabla 3.** Perfil fitoquímico de los extractos de *Eichhornia crassipes* obtenidos mediante maceración y Soxhlet  
**Table 3.** Phytochemical profile of *Eichhornia crassipes* extracts obtained by maceration and Soxhlet

Fitoquímico	Maceración									Soxhlet								
	Hoja			Bulbo			Hoja+Bulbo			Hoja			Bulbo			Hoja+Bulbo		
	H	E	A	H	E	A	H	E	A	H	E	A	H	E	A	H	E	A
Flavonoides	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Shinoda	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Ácido sulfúrico	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Alcaloides																		
Mayer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wagner	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saponinas	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+
Fenoles	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Triterpenos	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Quinonas	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Taninos	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+
Cumarinas	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-
Carotenoides	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-

+ Presencia, - Ausencia, H: Hexano, E: Etanol, A: Agua

polar reportando alcaloides, flavonoides, fenoles y saponinas en un extracto clorofórmico, mientras que Anusiya *et al.* (2020) reporta flavonoides, taninos y saponinas en extractos obtenidos con benceno.

En general, las variaciones de fitoquímicos detectados mediante el método Soxhlet pueden deberse a la concentración del extracto, la época y zona de muestreo y a la edad de la planta. Asimismo, de acuerdo con los resultados obtenidos, se observa mayor variedad de metabolitos en los extractos acuosos en comparación con los extractos hexánicos y etanólicos para los dos métodos de extracción, seguido de los extractos etanólicos obtenidos por el método Soxhlet. Aunado a esto, factores como la temperatura, luz, agitación y concentración de fitoquímicos juegan un papel muy importante en cuanto a su detección (Khalid *et al.*, 2020), ya que se determinó mayor variedad de metabolitos en los extractos mediante Soxhlet (caliente) que en maceración (frío), asimismo los resultados positivos en Ho o B que fueron negativos en Ho+B pueden atribuirse a la concentración presente en cada fracción. No obstante, a pesar de la escasa detección de metabolitos en extractos hexánicos y etanólicos se procedió a la cuantificación de fitoquímicos con la finalidad de comprobar su ausencia.

### Cuantificación de fitoquímicos

Los resultados de la cuantificación de fitoquímicos se muestran en la Tabla 4, donde se observa que independientemente de la fracción de la planta y método de extracción el contenido de flavonoides y fenoles totales es superior al resto de los componentes.

El contenido de fenoles totales fue mayor en el extracto acuoso de la fracción hoja obtenido por maceración (749.20 mg ácido gálico/100 ges). De acuerdo con lo reportado en la literatura, los resultados son superiores a lo obtenido por Surendraraj *et al.* (2013) quienes emplearon un extracto obtenido por maceración de la fracción hoja de *E. crassipes* (200 mg ácido gálico/100 gms). De igual manera, los resultados obtenidos para el extracto acuoso de las hojas del lirio acuático usando el método de extracción Soxhlet es superior (301 mg ácido gálico/100 ges) a lo reportado por Rorong *et al.* (2012) quienes cuantificaron el contenido de fenoles totales (0.1 mg ácido gálico/100 gms) en un extracto acuoso a partir de las hojas del lirio acuático ocupando el método de maceración.

Respecto al contenido de flavonoides, se observa en la Tabla 4 que el extracto hexánico de la fracción Ho+B obtenido por el método maceración fue mayor (218.39 mg catequina/100 ges) en comparación con el método Soxhlet para la misma fracción (146.64 mg catequina/100 ges), pero similar a lo obtenido en el extracto etanólico para la fracción hoja (217.57 mg catequina/100 ges). Lenora y Senthilkumar (2017) mencionan que el extracto hexánico de la planta completa de *E. crassipes* obtenido por método soxhlet presentan flavonoides (10 mg ácido gálico/g), al igual que lo menciona Rorong *et al.* (2012) en un extracto metanólico al 80 % (3.3 mg ácido gálico/g) y Liu *et al.* (2017) para un extracto etanólico (16 mg ácido gálico/g).

En cuanto al extracto acuoso, la fracción Ho presentó la mayor concentración de taninos (5.62 mg ácido tánico/100 ges) cuando se obtiene por el método Soxhlet seguido del extracto acuoso obtenido por maceración de la fracción Ho+B (4.43 mg ácido tánico/100 ges). Mohamed *et al.* (2019) y Adalakun *et al.* (2016) mencionan que el extracto etanólico de la planta completa de *E. crassipes* presenta taninos (3.13 µg ácido tánico/mg extracto, 0.27 µg ácido tánico/mg extracto, respectivamente).

En relación a los resultados de saponinas se encontró que el extracto acuoso de la fracción B obtenido por el método Soxhlet presenta mayor contenido de este fitoquímico (6.73 mg saponina triterpénica/100 ges). Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Adalakun *et al.* (2016), quienes emplearon la planta completa y determinaron la presencia de saponinas (1.27 µg /mg muestra seca).

Por otra parte, el resultado del contenido de carotenoides demostró que el extracto etanólico de la fracción Ho obtenido por Soxhlet es el que presenta un alto contenido (10.56 mg β-caroteno/100 ges) en comparación con el resto de extractos evaluados. Kandukuri *et al.* (2009) indican que el extracto metanólico *E. crassipes* presenta carotenoides (1.8 mg de carotenoides/g). Finalmente, para el contenido de cumarinas los resultados muestran que el extracto obtenido por maceración de la fracción Ho presenta mayor concentración (0.97 mg cumarina/100 ges). El análisis estadístico indica que existe diferencia estadísticamente significativa entre los métodos de obtención del extracto y las fracciones de la planta evaluadas ( $R^2_{ajustada}: 0.9996; p < 0.05$ ).

En general, estas variaciones en el contenido de fitoquímicos pueden ser atribuidas a las condiciones climáticas (temperatura, luz), forma de obtención de los extractos (relación muestra: solvente, velocidad de agitación, polaridad de los solventes, procesamiento de la muestra), la edad y fracciones de la planta a evaluar (Azwanida, 2015; Adalakun *et al.*, 2016). Por lo anterior, se puede evidenciar que la fracción Ho es una fuente importante de fitoquímicos antimicrobianos, lo cual coincide con lo reportado Surendraraj *et al.* (2013) y Rorong *et al.* (2012), sin embargo, es importante determinar su potencial para identificar la fracción más viable para este fin, así como la estrategia a seguir para obtener los mejores resultados bajo las condiciones del estudio.

### Actividad bacteriostática

Los resultados de la actividad bacteriostática se muestran en la Tabla 5, donde en general, se observa que los extractos etanólicos y acuosos fueron más eficaces para inhibir el crecimiento de los microorganismos patógenos para humanos. El extracto etanólico de la fracción Ho+B obtenido por maceración (halo de inhibición: 18.53 mm) presentó la mayor inhibición de la bacteria *S. aureus*, al igual que el extracto acuoso obtenido por Soxhlet (halo de inhibición: 18.40 mm). Igualmente, el extracto etanólico y acuoso obtenido por Soxhlet de la fracción Ho (halo de inhibición: 11.97 mm, 11.93 mm, respectivamente) y Ho+B (halo de inhibición: 11.50 mm, 11.40 mm, respectivamente) son los que presentan mayor

**Tabla 4.** Cuantificación de fitoquímicos de los extractos hexánicos, etanólicos y acuosos de *Eichhornia crassipes* obtenidos mediante Maceración y Soxhlet**Table 4.** Phytochemicals quantification of hexane, ethanolic and aqueous extracts from *Eichhornia crassipes* obtained by Maceration and Soxhlet

Fitoquímico	Método-Solvente	Hoja	Bulbo	Hoja+Bulbo
Fenoles totales (mg ácido gálico/100 ges)	M-H	259.35 ± 2.58 <sup>g</sup>	278.71 ± 1.29 <sup>j</sup>	252.47 ± 3.25 <sup>f</sup>
	M-E	236.99 ± 2.69 <sup>e</sup>	268.82 ± 2.98 <sup>i</sup>	226.24 ± 3.25 <sup>d</sup>
	M-A	749.20 ± 4.58 <sup>o</sup>	224.87 ± 3.33 <sup>d</sup>	671.82 ± 22.3 <sup>n</sup>
	S-H	314.84 ± 2.58 <sup>l</sup>	162.15 ± 3.25 <sup>b</sup>	225.38 ± 3.25 <sup>d</sup>
	S-E	265.38 ± 2.69 <sup>h</sup>	138.06 ± 2.23 <sup>a</sup>	210.75 ± 3.25 <sup>c</sup>
	S-A	301.67 ± 7.40 <sup>k</sup>	561.21 ± 5.59 <sup>m</sup>	891.58 ± 2.55 <sup>p</sup>
Flavonoides (mg catequina/100 ges)	M-H	133.44 ± 0.82 <sup>h</sup>	86.98 ± 3.43 <sup>f</sup>	218.39 ± 1.43 <sup>m</sup>
	M-E	74.97 ± 2.51 <sup>d</sup>	29.54 ± 1.04 <sup>b</sup>	53.94 ± 3.11 <sup>c</sup>
	M-A	146.92 ± 2.12 <sup>l</sup>	12.13 ± 0.21 <sup>a</sup>	155.49 ± 6.78 <sup>k</sup>
	S-H	152.14 ± 4.23 <sup>j</sup>	102.65 ± 8.58 <sup>g</sup>	146.64 ± 1.65 <sup>i</sup>
	S-E	217.57 ± 3.78 <sup>m</sup>	10.05 ± 0.48 <sup>a</sup>	29.91 ± 0.95 <sup>b</sup>
	S-A	150.15 ± 5.99 <sup>j</sup>	77.98 ± 2.75 <sup>e</sup>	184.51 ± 3.27 <sup>l</sup>
Taninos (mg ácido tánico/100 ges)	M-H	0.30 ± 0.0 <sup>a</sup>	0.84 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.31 ± 0.00 <sup>a</sup>
	M-E	1.59 ± 0.01 <sup>h</sup>	1.23 ± 0.00 <sup>g</sup>	1.01 ± 0.00 <sup>f</sup>
	M-A	2.59 ± 0.04 <sup>j</sup>	0.94 ± 0.03 <sup>f</sup>	4.43 ± 0.11 <sup>k</sup>
	S-H	0.40 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.57 ± 0.01 <sup>h</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>c</sup>
	S-E	0.99 ± 0.00 <sup>f</sup>	0.95 ± 0.00 <sup>f</sup>	1.01 ± 0.01 <sup>f</sup>
	S-A	5.62 ± 0.19 <sup>j</sup>	1.55 ± 0.03 <sup>h</sup>	1.92 ± 0.02 <sup>i</sup>
Saponinas (mg saponina triterpénica/100 ges)	M-H	2.60 ± 0.06 <sup>g</sup>	1.81 ± 0.01 <sup>c</sup>	2.51 ± 0.51 <sup>f</sup>
	M-E	2.14 ± 0.02 <sup>d</sup>	2.13 ± 0.02 <sup>d</sup>	2.30 ± 0.09 <sup>e</sup>
	M-A	4.31 ± 0.06 <sup>j</sup>	2.86 ± 0.06 <sup>h</sup>	3.41 ± 0.14 <sup>i</sup>
	S-H	2.84 ± 0.01 <sup>h</sup>	2.23 ± 0.07 <sup>e</sup>	2.67 ± 0.03 <sup>g</sup>
	S-E	3.49 ± 0.02 <sup>l</sup>	1.07 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.57 ± 0.02 <sup>b</sup>
	S-A	6.35 ± 0.13 <sup>k</sup>	7.06 ± 0.11 <sup>m</sup>	6.73 ± 0.02 <sup>l</sup>
Alcaloides (mg cinconina/100 ges)	M-H	0	0	0
	M-E	0	0	0
	M-A	0	0	0
	S-H	0	0	0
	S-E	0	0	0
	S-A	0	0	0
Carotenoides (mg β-caroteno /100 ges)	M-H	0.34 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>b</sup>
	M-E	1.03 ± 0.08 <sup>e</sup>	0.22 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.59 ± 0.02 <sup>d</sup>
	M-A	0 <sup>a</sup>	1.80 ± 0.17 <sup>g</sup>	0 <sup>a</sup>
	S-H	1.95 ± 0.14 <sup>g</sup>	0.27 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.17 ± 0.02 <sup>b</sup>
	S-E	10.56 ± 0.26 <sup>j</sup>	2.36 ± 0.39 <sup>h</sup>	1.39 ± 0.14 <sup>f</sup>
	S-A	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Cumarinas (mg coumarina /100 ges)	M-H	0.97 ± 0.02 <sup>h</sup>	0.15 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.51 ± 0.03 <sup>g</sup>
	M-E	0.30 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.08 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>c</sup>
	M-A	0.12 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.06 ± 0.00 <sup>b</sup>
	S-H	0.45 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.23 ± 0.03 <sup>d</sup>
	S-E	0.08 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>a</sup>
	S-A	0.013 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.09 ± 0.00 <sup>b</sup>

Letras iguales por cada fitoquímico evaluado indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ).

ges: gramos de extracto seco, M: Maceración, S: Soxhlet, H: Hexano, E: Etanol, A: Agua.

inhibición contra *Salmonella* sp. El análisis estadístico indica que existe diferencia estadísticamente significativa entre los métodos de obtención del extracto y las fracciones de la planta evaluadas ( $R^2_{ajustada}: 0.9963$ ;  $p < 0.05$ ).

En general, los resultados son similares a los obtenidos por Fareed *et al.* (2008), ya que mencionan que los extractos acuosos y etanólicos de hojas de *E. crassipes* presentan

actividad antimicrobiana contra las cepas *S. aureus* y *Salmonella choleraesuis*, asimismo, Joshi y Kaur (2013) evaluaron la actividad bacteriostática de extractos etanólicos y acuosos de la planta *E. crassipes* obtenidos por el método Soxhlet concluyendo que presentan potencial contra la bacteria gram (+) del género *Staphylococcus*. Mientras que, Baral *et al.* (2011) concluyen que los extractos etanólicos obtenidos

**Tabla 5.** Actividad bacteriostática de extractos hexánicos, etanólicos, y acuosos de *Eichhornia crassipes* obtenidos por Maceración y Soxhlet  
**Table 5.** Bacteriostatic activity of hexane, ethanolic, and aqueous extracts from *Eichhornia crassipes* obtained by Maceration and Soxhlet

Bacteria	Extracto	Zona de inhibición (mm)		
		Hoja	Bulbo	Hoja+Bulbo
Gram (+): <i>Staphylococcus aureus</i>	M-H	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	M-E	13.57 ± 0.06 <sup>e</sup>	16.50 ± 0.10 <sup>g</sup>	18.53 ± 0.06 <sup>h</sup>
	M-A	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	S-H	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	S-E	8.07 ± 0.12 <sup>c</sup>	9.10 ± 0.10 <sup>d</sup>	7.03 ± 0.06 <sup>b</sup>
	S-A	18.40 ± 0.10 <sup>h</sup>	14.40 ± 0.10 <sup>e</sup>	15.23 ± 0.06 <sup>f</sup>
Gram (-): <i>Salmonella</i> sp.	M-H	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	M-E	9.50 ± 0.10 <sup>d</sup>	9.00 ± 0.10 <sup>c</sup>	8.47 ± 0.06 <sup>b</sup>
	M-A	10.90 ± 0.10 <sup>f</sup>	9.40 ± 0.10 <sup>d</sup>	8.93 ± 0.06 <sup>c</sup>
	S-H	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	S-E	11.97 ± 0.06 <sup>i</sup>	10.50 ± 0.10 <sup>e</sup>	11.50 ± 0.10 <sup>h</sup>
	S-A	11.93 ± 0.06 <sup>i</sup>	11.00 ± 0.10 <sup>g</sup>	11.40 ± 0.10 <sup>h</sup>

Letras iguales por cada cepa bacteriana evaluada indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ).

M: Maceración, S: Soxhlet, H: hexano, E: etanol, A: agua, C+: control positivo (gentamicina).

mediante un método Soxhlet tienen mayor actividad antimicrobiana contra bacterias Gram (-), (zona de inhibición: ~9 mm), sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo de investigación son mejores a lo reportado en la literatura, como se puede ver al inicio de este apartado, aunque, cabe mencionar que comparando los resultados con el control positivo empleado no se iguala su potencial, ya que la zona de inhibición fue de  $24 \pm 0.01$  mm y  $21 \pm 0.01$  mm, para la bacteria Gram (+) y Gram (-), respectivamente.

Silva y Fernandes (2010), mencionan que algunos fitoquímicos presentan actividad antimicrobiana y que dependiendo de su estructura es su mecanismo de acción, por ejemplo, los flavonoides se unen a la pared celular, las flavonas específicamente forman un complejo con la pared celular o pueden inactivar enzimas, y los taninos forman enlaces con las proteínas, se unen a la pared celular, inhiben enzimas, compiten con el sustrato por el sitio activo, forman complejos con la pared celular, rompen la membrana o forman complejos con iones metálicos. En este sentido, los mecanismos de resistencia están involucrados con la desintegración de la membrana citoplasmática, el transporte activo, el flujo de electrones y la desestabilización de la fuerza motriz del protón. Sin embargo, no todos los mecanismos de acción se llevan a cabo en sitios específicos y algunos de estos pueden verse afectados a causa de otras interacciones químicas. Asimismo, los fitoquímicos hidrofóbicos debido a que pueden interactuar con los lípidos de la membrana con mayor facilidad ocasionan desestabilizar la estructura celular, haciéndola más permeable, es decir, la estructura hidrocarbonada cíclica de estas moléculas puede interactuar directamente con las ATPasas y enzimas que se localizan en membrana citoplasmática (Burt, 2004; Vasconcelos *et al.*, 2018; Klyuchko, 2020). Por otra parte, Carson *et al.* (2002) reportan que para las bacterias *E. coli* y *S. aureus* cuando se encuentran en la fase estacionaria de crecimiento son

generalmente menos sensibles a tener daños en su estructura celular ocasionados por los diferentes mecanismos de acción de los fitoquímicos que cuando se encuentran en la fase exponencial, lo que sugiere que la principal función de los fitoquímicos no es causar daño grave a la pared celular, y por el contrario predomina un proceso autolítico por parte de enzimas celulares de la bacteria, lo que puede inducir lisis celular y un debilitamiento de la membrana como lo menciona Khameneh *et al.* (2019). Asimismo, las bacterias pueden liberar potasio cuando están expuestas a sustancias tóxicas para ellas como los fitoquímicos y de esta manera les permite retardar el daño a su estructura celular; sin embargo, la presencia de flavonas y flavonoles son los causantes de inhibir este proceso e inducir daño celular (Meghashri y Gopal, 2012).

## CONCLUSIÓN

En general, la fracción Ho presentó mayor contenido de proteínas ( $32.67 \pm 0.25$ ), pentosanos ( $9.87 \pm 0.06$ ) y holo-celulosa ( $65.34 \pm 0.06$ ) en comparación a las fracciones B y Ho+B, asimismo, sus extractos acuosos obtenidos por ambos métodos de extracción presentaron mayor contenido de fitoquímicos con propiedades bacteriostáticas (fenoles totales, flavonoides y saponinas), siendo los extractos acuosos obtenidos por Soxhlet los que presentaron mayor inhibición contra las bacterias patógenas para humanos (*S. aureus* (halo de inhibición:  $18.40 \pm 0.10$  mm) y *Salmonella* sp. (halo de inhibición:  $11.93 \pm 0.06$  mm)), lo que sugiere que esta fracción tiene potencial biotecnológico para emplearse como materia prima para la producción de xilooligosacáridos, enzimas o compuestos bioactivos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UPPachuca y a CONACyT por su apoyo

## REFERENCIAS

- Adelakun, K. M., Kehinde, A. S., Amali, R. P., Ogundiwin, D. I. y Omotayo, O. L. 2016. Nutritional and phytochemical quality of some tropical aquatic plants. *Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences*. 4: 1-4.
- Anand, U., Jacobo-Herrera, N., Altemimi, A. y Lakhssassi, N. A. 2019. Comprehensive review on medicinal plants as antimicrobial therapeutics: Potential avenues of biocompatible drug discovery. *Metabolites*. 9: 258.
- Anusiya, G., Bharathi, S., Mukesh Praveen, K. y Sainandhini, G. 2020. Extraction and molecular characterization of biological compounds from water hyacinth. *Journal of Medicinal Plants*. 8: 14-19.
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- Azwani, N.N. 2015. A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal & Aromatical Plants*. 4: 2167-0412.
- Baral, B., Vaidya, G. S. y Bhattarai, N. 2011. Bioactivity and biochemical analysis of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Botanica Orientalis: Journal of Plant Science*. 8: 33-39.

- Burt S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiol.* 94: 233-253.
- Campos, D., Noratto, G., Chirinos, R., Arbizu, C., Roca, W. y Cisneros-Zevallos, L. 2006. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 86: 1481-1488.
- Carson, C.F., Mee, B.J. y Riley, T.V. 2002. Mechanism of action of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil on *Staphylococcus aureus* determined by time-kill, lysis, leakage, and salt tolerance assays and electron microscopy. *Antimicrobial agents, and chemotherapy.* 46: 1914-1920.
- Das A., Ghosh P., Paul T., Ghosh U., Pati B. R. y Mondal K.C. 2016. Production of bioethanol as useful biofuel through the bioconversion of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *3 Biotech.* 6: 1-9.
- Fareed M.F., Haroon A.M. y Rabeh S.A. 2008. Antimicrobial activity of some macrophytes from lake Manzalah (Egypt). *Pakistan Journal of Biological Sciences.* 11: 2454-2463.
- Gabriel, A.F., Igwemmar, N.C., Sadam, A.A. y Babalola, S.A. 2018. Comparative studies of the phytochemical and nutritional analysis of water hyacinths [*Eichhornia crassipes*] stem and leaf. *Direct Research Journal of Health and Pharmacology.* 6: 12-18.
- Gbadamosi, I.T. y Kalejaye, A.O. 2017. Comparison of the antioxidant activity, phytochemical and nutritional contents of two antihypertensive ethnomedicinal plants. *Ife Journal of Science.* 19: 147-158.
- Hamid, H.H. 2013. Photochemical, antioxidant and antibacterial activities of some extracts of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) leaves. *International Journal of Advances in Pharmaceutical Research.* 4: 1847-1851.
- Joshi, M. y Kaur, S. 2013. *In vitro* evaluation of antimicrobial activity and phytochemical analysis of *Calotropis procera*, *Eichhornia crassipes* and *Datura innoxia* leaves. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research.* 6: 25-28.
- Kandukuri, V., Jakku, V.G., Aruri, S. y Singara, C. 2009. Biomolecular and phytochemical analyses of three aquatic angiosperms. *African Journal of Microbiology Research.* 3: 418-421.
- Khalid, S., Shaheen, S., Hussain, K., Shahid, M.N. y Sarwar, S. 2020. Pharmacological analysis of obnoxious water weed: *Eichhornia crassipes* (mart.) Solms. *Journal of Animal and Plant Sciences.* 30: 1465-1475.
- Khameneh, B., Iranshahy, M., Soheili, V. y Bazzaz, B. S. F. 2019. Review on plant antimicrobials: a mechanistic viewpoint. *Antimicrobial Resistance & Infection Control.* 8: 118.
- Klyuchko, O. M. 2020. Aromatic hydrocarbons of arthropodae species: mechanisms of action on biological membranes and perspectives of biomedical application. *Biotechnologia Acta.* 13: 12-31.
- Kriticos, D.J. y Brunel, S. 2016. Assessing and managing the current and future pest risk from water hyacinth, (*Eichhornia crassipes*), an invasive aquatic plant threatening the environment and water security. *Plos One*, 11: 6-18.
- Kumazawa, S., Hamasaka, T. y Nakayama, T. 2004. Antioxidant activity of propolis of various geographic origins. *Food chemistry.* 84: 329-339.
- Lara-Serrano J.S., Rutiaga-Quiñones O.M., López-Miranda J., Fileto-Pérez H.A., Pedraza-Bucio F.E., Rico-Cerda J.L. y Rutiaga-Quiñones J.G. 2016. Physicochemical characterization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). *BioResources.* 11: 7214-7223.
- Lenora, L.M. y Senthilkumar, N. Insecticidal potential of aquatic alien weed, *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms on *Tobacco Caterpillar, Spodoptera litura* (F.). 2017. *Asian Journal of Plant Science and Research.* 7: 1-6.
- Liu, C.C., Zhao, G.L., Li, Y.N., Ding, Z.P., Liu, Q.G. y Li, J.L. 2017. Contribution of phenolics and flavonoids to anti-oxidant activity and of ethanol extract from *Eichhornia crassipes*. *Advanced Materials Research.* 156: 1372-1377.
- Lozano, M., Ticona, E., Carrasco, C., Flores, Y. y Almanza, G.R. 2012. Cuantificación de saponinas en residuos de quinua real *Chenopodium quinoa* willd. *Revista Boliviana de Química.* 29: 131-138.
- Meghashri, S., y Gopal, S. 2012. Leucasin - induced cytoplasmic membrane damage in *Staphylococcus aureus*. *Journal of Phytomedicine.* 4: 150-154.
- Mohamed, W.A., Mansour, M.M. y Salem, M.Z. 2019. *Lemna gibba* and *Eichhornia crassipes* extracts: Clean alternatives for deacidification, antioxidation and fungicidal treatment of historical paper. *Journal of Cleaner Production.* 219: 846-855.
- Mohan, A., Munusamy, C., Yee-Tan, C., Muthuvelu, S., Hashim, R., Su-Lin, C., Whong, M. K., Khairuddin, N. A., Podin, Y., Lau, P. S. T., Chun-Ern Ng, D. y Mong-Ooi-How, O. 2019. Invasive *Salmonella* infections among children in Bintulu, Sarawak, Malaysian Borneo: a 6-year retrospective review. *B.M.C. Infectious disease.* 19: 1-11.
- Prabakaran, A.S. y Mani, N. 2017. Analysis of bioactive compounds and elemental analysis in *Eichhornia crassipes* leaf. *World Journal of Pharmaceutical research.* 6: 1083-1092.
- Purbowatiningrum, R. S., Hapsari, M., Rafi'ah, F.H. y Haq, M.S. 2017. Synthesis of furfural from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) In *I.O.P. Conference Series: Materials Science and Engineering.* 172: 1-6.
- Reddy, A.M., Pratt, P.D. Hopper, J.V., Cibils-Stewart, X., Cabrera-Walsh, G. y Mac-Kay, F. 2019. Variation in cool temperature performance between populations of *Neochetina eichhorniae* (Coleoptera: Curculionidae) and implications for the biological control of water hyacinth, *Eichhornia crassipes*, in a temperate climate. *Biological Control.* 128: 85-93.
- Rorong, J.A., Sudiarso, S., Prasetya, B., Polii-Mandang, J. y Suryanto, E. 2012. Phytochemical analysis of eceng gondok (*Eichhornia crassipes* solms) of agricultural waste as biosensitizer for ferri photoreduction. *Journal of Agricultural Science.* 34: 152-160.
- Sarker S.D., Latif Z. y Gray A. 2006. Extraction of plant secondary metabolites. In: *Natural Products Isolation.* (2da Ed.) Humana Press Inc., pp. 1-26. Totowa, New Jersey.
- Shamsa, F., Monsef, H., Ghamooshi, R. y Verdian-rizi, M. 2007. Spectrophotometric determination of total alkaloids in *Peganum harmala* L. using bromocresol green. *Research Journal of Phytochemistry.* 1: 79-82.
- Shivae, A., Rajabi, S., Farahani, H. E. y Fooladi, A. A. I. 2021. Effect of sub-lethal doses of nisin on *Staphylococcus aureus* toxin production and biofilm formation. *Toxicon.* 197: 1-5.



- Silva, N.C.C. y Fernandes, J.A. 2010. Biological properties of medicinal plants: a review of their antimicrobial activity. *Journal of venomous Animals and Toxins including tropical diseases*. 16: 402-413.
- Singleton, V.L. y Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16: 144-158.
- Soares e Silva, L., Santos da Silva L., Brumano L., Stringheta P.C., de Oliveira-Pinto, M.A., MoreiraDias, L.O., de Sá Martins-Muller, C., Scio, E., Luis-Fabri, R., Castro H.C. y da Pena-Henriques do Amaral, M. 2012. Preparation of dry extract of *Mikania glomerata* sprengel (guaco) and determination of its coumarin levels by spectrophotometry and HPLC-UV. *Molecules*. 17: 10344-10354.
- Su, W., Sun, Q., Xia, M., Wen, Z. y Yao, Z. 2018. The resource utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* [Mart.] solms) and its challenges. *Resources*. 7: 46-54.
- Surendraraj, A., Farvin, K. H. S. y Anandan, R. 2013. Antioxidant potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): In vitro antioxidant activity and phenolic composition. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 22: 11-26.
- T 203 cm-09. 2015. Alpha-, Beta-, and Gamma-cellulose in the pulp. T.A.P.P.I. Standards
- T 211 om. 1993. Ash in wood and pulp. T.A.P.P.I. Standards
- T 212 cm-12. 2015. One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. T.A.P.P.I. Standards
- T 223 cm-84. 1984. Pentosans in wood and pulp. T.A.P.P.I. Standards
- Tovar-Jiménez, X., Arana-Cuenca, A., Téllez-Jurado, A., Abreu-Corona, A. y Muro-Urista, C.R. 2012. Traditional methods for whey protein isolation and concentration: effects on nutritional properties and biological activity. *Journal Mexican Chemistry Society*. 56, 369-377.
- Tovar-Jiménez, X., Favela-Torres, E., Volke-Sepúlveda, T.L., Escalante-Espinosa, E., Díaz-Ramírez, I.J., Córdova-López, J.A. y Téllez-Jurado, A. 2019. Influencia de la zona geográfica y fracción del lirio acuático en su composición química. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 11: 39-52.
- Tyagi, T., Katara, A., Parashar, P. y Agarwal, M. 2017. An important ethanomedicinal invasive weed *Eichhornia crassipes* (Mart.) solms and *Pistia stratiotes* (L.): Phenolic profiling and antioxidant activity. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 10: 53-58.
- Vasconcelos, N. G., Croda, J. y Simionatto, S. 2018. Antibacterial mechanisms of cinnamon and its constituents: A review. *Microbial pathogenesis*. 120: 198-203.
- Yan, S.H., Song, W. y Guo, J.Y. 2017. Advances in management and utilization of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in aquatic ecosystems – a review. *Critical reviews in biotechnology*. 37: 218-228.
- Yuan T.Q. y Sun R.C. 2010. Chemistry, Extractives, Lignins, Hemicelluloses and Cellulose. Cereal straw as a resource for sustainable Biomaterials and Biofuels, Vol. 1, Elsevier, Oxford, UK.