



P L A N T A



No. 28

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Noviembre 2023





UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

Una publicación de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Med. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
Secretario General

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo
Secretario Académico

Dr. José Javier Villarreal Álvarez Tostado
Secretario de Extensión y Cultura

Lic. Antonio Jesús Ramos Revillas
Director de Editorial Universitaria

Dr. José Ignacio González Rojas
Coordinador de la Facultad de Ciencias Biológicas

Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez
Dr. Sergio Manuel Salcedo Martínez
Editores Responsables

Dra. Alejandra Rocha Estrada
Editora Invitada

Dr. Jorge Luis Hernández Piñero
Circulación y Difusión

PLANTA, Año 19, N° 28, Noviembre 2023. Es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Domicilio de la publicación: Ave. Pedro de Alba y Manuel Barragán, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66451. Teléfono: + 52 81 83294110 ext. 6456. Fax: + 52 81 83294110 ext. 6456. Editores responsables: Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez y Dr. Sergio Manuel Salcedo Martínez. Reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2022-110813543200-102. ISSN 2007-1167, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Licitud de título y contenido No. 14,926, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial: En trámite. Impresa por: Imprenta Universitaria, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66455. Fecha de terminación de impresión: 17 de noviembre de 2023, Tiraje: 250 ejemplares. Distribuido por: Universidad Autónoma de Nuevo León a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Domicilio de la publicación: Ave. Pedro de Alba y Manuel Barragán, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66455

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores.

Prohibida su reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido editorial de este número.

Impreso en México

Todos los derechos reservados

© Copyright 2023

planta.fcb@gmail.com

Contenido

EDITORIAL 3

PERSONAJES

Dr. José Sarukhán Kermez 4

BOTÁNICA APLICADA

Biorremediación y su Importancia en los Ecosistemas 6

Ficobilinas: Usos, Aplicaciones y Perspectivas 13

Los Extractos Vegetales al Servicio de la Humanidad 21

Hongos Medicinales de Nuevo León 26

Hongos Tóxicos de Nuevo León 32

SOLO CIENCIA

Patrón de Distribución Esporangial en *Selaginella delicatissima*, *S. pallescens*, y *S. pilifera* en Nuevo León, México 39

Diseño de un Péptido Químico Conservado para Expresarse en Tomate como Vacuna Comestible Contra el Virus del Papiloma Humano: Un Enfoque Bionfórmico 42

Morfología y Anatomía Foliar del Cenizo *Leucophyllum frutescens* (Berl.) I. M. Johnst. (Scrophulariaceae) 46

Variación Anual del Polen de *Parietaria pensylvanica* Muhl. ex Willd. (Urticaceae) en el Aire del Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México 53

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES 58

PARA REFLEXIONAR

La Cinta Azul 60

Imagen portada

Amanita muscaria (L.: Fr.) Lam. 1783

Autor: Ricardo Quirino Olvera

Nos complace presentar el número 28 de la revista PLANTA de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Este número junto con el número 27 publicado hace unos días representan una nueva etapa en la vida de la revista PLANTA, cuya publicación se vio interrumpida hace tres años con la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2. Esperamos que estas nuevas publicaciones 27 y 28 sean de su agrado.

El número 27 está dedicado íntegramente a rendir homenaje al Dr. Jerzy Rzedowski (1926-2023) y su esposa Graciela Calderón de Rzedowski (1931-2022). En este número especial se incluyen colaboraciones de investigadores que conocieron de forma cercana a los Dres. Rzedowski y nos presentan además de aspectos relevantes de su vida académica y científica, el lado personal y humano, quienes con enorme humildad y sencillez contribuyeron de forma muy significativa al desarrollo de la Botánica en México y el Mundo.

Por otra parte, este número 28, presenta una selección de trabajos y contribuciones originales. En la sección Botánica Aplicada encontramos un interesante trabajo que describe detalles acerca de la biorremediación y su importancia en los ecosistemas. En otro trabajo Aguirre Cavazos y colaboradores nos presentan un interesante trabajo acerca de las ficobilinas, moléculas presentes en las algas con múltiples usos actuales y potenciales. En esa misma línea se presenta el trabajo de Hernández Piñero y Rocha Estrada quienes nos describen la importancia de los extractos vegetales en la vida del hombre. También encontraremos dos interesantes trabajos acerca de los hongos medicinales y tóxicos en el estado de Nuevo León.

En la sección Solo Ciencia se presentan cuatro trabajos originales, el primero de ellos acerca de las diferencias en el patrón de distribución esporangial en tres especies del género *Selaginella*; siguiendo con el tema de la estructura morfológica y anatómica encontraremos un trabajo exhaustivo acerca de la morfología y anatomía foliar del cenizo, especie nativa del norte de México. Se presenta también un trabajo sobre aerobiología donde se analiza la variación anual en las concentraciones del polen de *Parietaria pensylvanica* en el aire de la ciudad de Monterrey. Encontramos también una interesante investigación en el área de la biotecnología donde se describe el diseño de un péptido con uso potencial como vacuna comestible contra el papiloma humano. Por último, pero no menos importante, en la sección Personajes hacemos un reconocimiento a la vida y obra del Dr. José Sarukhán Kermez.

El Dr. José Sarukhán Kermez es uno de los biólogos mexicanos con mayor reconocimiento a nivel mundial en los tiempos actuales y fundador de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Nacido en la Ciudad de México en 1940, desde temprana edad mostró un profundo interés por la naturaleza, lo que lo llevó a estudiar en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde obtuvo su licenciatura en 1962.

Continuó estudios de posgrado hasta obtener su título de Maestro en Ciencias por la Universidad de Chapingo y doctor en Ecología por la Universidad de Gales, Gran Bretaña. A partir de entonces su obra ha sido excepcionalmente prolífica, particularmente en temas de la ecología de los bosques y otros tipos de vegetación de México, así como de sus ciclos biogeoquímicos, contribuyendo con casi 200 artículos científicos y una decena de libros que siguen siendo referentes en el campo de la Ecología, como *Las musas de Darwin* (1988), *Capital natural de México* (2008), *Defensa legal contra delitos ambientales* (2014), *El cambio climático. Causas, efectos y soluciones* (2016) y *Desde el sexto piso* (2017).

Su impacto en la comunidad científica es de tal magnitud que ha recibido importantes reconocimientos y distinciones nacionales e internacionales por parte de diversas sociedades botánicas, así como más de media docena de doctorados honoríficos de Universidades de México y otros países. Como presidente de la Academia de la Investigación Científica (1983-1985) jugó un importante papel en la creación

Dr. José Sarukhán Kermez



e instauración del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Asimismo, fue Rector de la UNAM en dos períodos (1989-1997) y es miembro activo de diversas Asociaciones Científicas, entre las que destacan la Academia Nacional de Ciencias de los EUA, la Royal Society de Londres y el Colegio Nacional en México. Ha sido galardonado con el Premio Nacional de Ciencias y Artes 1990 y el Premio Tyler por Logro Ambiental 2017, entre otros. Fue también Director del Instituto de Biología de la UNAM y del Instituto de Ecología, mejor conocido como INECOL, del cual fue su fundador.

Su liderazgo dentro de la comunidad científica le permitió establecer en 1992 la creación de la CONABIO, cuyo objetivo principal ha sido el de impulsar la conservación y el conocimiento de la biodiversidad en México, convirtiéndose así en un centro de exce-

lencia al cual confluyen científicos, investigadores y expertos en biodiversidad de todo el país. Este esfuerzo ha sido esencial para orientar al desarrollo de las políticas públicas necesarias en el país en materia de conservación y desarrollo sostenible. Bajo la dirección de la CONABIO por parte del Dr. Sarukhán Kermez hasta el año 2019, esta institución gubernamental ha impulsado la elaboración del atlas de biodiversidad, la identificación de áreas prioritarias para la conservación y la promoción de políticas y estrategias de conservación a nivel nacional e internacional. Su incansable trabajo en la promoción de la conservación de la biodiversidad ha dejado una marca imborrable en México y más allá de sus fronteras y ha llevado a una mayor conciencia sobre la importancia de proteger los ecosistemas naturales y la protección de especies en peligro de extinción.

Su pasión por la educación y la divulgación científica es un claro ejemplo a generaciones de jóvenes biólogos y ambientalistas en México. Su compromiso con la formación de nuevos líderes en conservación es un pilar fundamental de su legado ya que asegura que su trabajo trascienda las fronteras generacionales. La vida y obra del Dr. José Sarukhán Kermez son un testimonio invaluable de dedicación, visión y pasión por la conservación de la naturaleza y el abordaje de los problemas ambientales globales que impactan al desarrollo sustentable. Como anécdota, durante la entrega de la distinción Dr. José Sarukhán, que a partir del año 2022 otorga el Colegio de Biólogos del Estado de Nuevo León a distinguidos colegas de la profesión, se invitó al Dr. Sarukhán y a su esposa a este distinguido evento y en agradecimiento se le concedió una medalla de plata con su imagen bajo relieve, a lo cual comentó de modo conmovido – he recibido unas cuantas distinciones en mi vida profesional, pero nunca una medalla, es mi primera vez-.

Algunas Frases del Dr. José Sarukhan Kermez

“¿Para que hay ciencia, para que hay política y para que economía, si no es para el bien de la gente? Hay que alinear todo ello para el bien común y de la sociedad”

“El que participa debe saber escuchar a los demás, analizar y resumir las distintas posiciones para llegar a acuerdos y respetarlos; debe saber presentar su propio punto de vista y argumentarlo; debe actuar con transparencia y ser capaz de rendir cuentas”

“Tenemos que hacer un cambio para dejar de dañar nuestros ecosistemas”

“Cultura es sinónimo de civilización y progreso intelectual”

“Cuando la sociedad se une para transmitir valores intelectuales a través de la tecnología, hace que esta valga la pena y esa es la belleza de la participación social”

“Todos tenemos fracasos, chicos o grandes; a veces son fallas en un proceso de ir caminando; caer, resbalar unos metros y después volver a avanzar es parte del desarrollo de la caminata”

“Es tiempo de que las universidades asuman que todas las profesiones tienen un impacto ambiental”

BIORREMEDIACIÓN Y SU IMPORTANCIA EN LOS ECOSISTEMAS

D.A. Valdez Saldaña, S.M. Salcedo Martínez*
y A. Rocha Estrada

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.
*sergio.salcedomr@uanl.edu.mx.

Resumen

En el control de la contaminación ambiental la biorremediación es una herramienta efectiva que utiliza los organismos y sus capacidades metabólicas para estabilizar, volatilizar, degradar o acumular contaminantes en agua, suelo o aire. Mientras las técnicas de bioestimulación y bioaumentación utilizan bacterias, hongos o microalgas para degradar contaminantes, la fitorremediación emplea plantas para inmovilizarlos en la rizosfera, absorberlos y secuestrarlos o degradarlos en sus tejidos o absorberlos y volatilizarlos por las hojas. Las algas de rápido crecimiento, con alta tolerancia a los contaminantes al concentrarlos o degradarlos pueden también ser utilizadas para adsorber, estabilizar, degradar o acumular contaminantes, en este caso se prefieren especies fáciles de cosechar y de las que se puedan obtener metabolitos comercialmente valiosos.

Palabras clave: Bioestimulación, bioaumentación, fitorremediación, ficorremediación

Biorremediación

La biorremediación, es un proceso que utiliza las capacidades biológicas de los organismos vivos para degradar contaminantes en el medio ambiente, tanto en ecosistemas terrestres como acuáticos. En el control de la contaminación ambiental la biorremediación es una herramienta cuya versatilidad depende de la biodiversidad y las facultades de las especies para lidiar

con distintos contaminantes, tales como hidrocarburos, aguas residuales, pesticidas y hasta gases tóxicos. El enfoque central es la utilización de organismos que se han adaptado a distintos ambientes donde transforman contaminantes en productos menos tóxicos que se reincorporan a los sistemas biogeoquímicos naturales. Los grupos de organismos que más exitosamente se han utilizado en biorremediación en ambientes terrestres son las bacterias, los hongos y las plantas, mientras que en ambientes acuáticos se emplean las algas en derrames accidentales o para el tratamiento de aguas con descargas agrícolas, domésticas e industriales (Garbisu *et al.*, 2002; Salcedo-Martínez *et al.*, 2019).

Consideraciones en el proceso de biorremediación

Dentro de los elementos a considerar al implementar un proceso de biorremediación se cuentan: el contaminante, el tipo de sistema, que puede ser terrestre, acuático o aéreo, así como el sitio donde se llevará a cabo el proceso, ya sea el mismo lugar donde se presenta el contaminante (in situ) o trasladando el medio contaminado (agua, suelo o aire) a un sitio diferente (ex situ), donde se puede tener más control de las variables ambientales durante el tratamiento (Figura 1). Enseguida se deberá determinar el proceso o técnica más adecuado para lograr los resultados esperados,



Figura 1. Tipos de Biorremediación.

para lo cual se toma en cuenta el tipo de contaminante, el área afectada, el presupuesto y tiempo disponibles.

Técnicas en biorremediación

Una de las técnicas más utilizadas para la biorremediación es la bioestimulación, que consiste en favorecer el crecimiento y/o metabolismo de microorganismos (bacterias u hongos) que son capaces de biorremediar (comúnmente degradar un contaminante en) un área determinada, lo cual se logra mediante la adición de nutrientes y aceptores de electrones como nitrógeno, fósforo, carbón y el oxígeno (Elektorowicz, 1994; Rhykerd *et al.*, 1999; Piehler *et al.*, 1999). La principal ventaja de esta estrategia es que utiliza los microorganismos nativos de la zona los cuales están bien adaptados al ambiente del subsuelo. Una de las condiciones a considerar al emplear esta la técnica es la litología del subsuelo, ya que la presencia de arcillas compactas o

algún material de grano fino favorece el que se mantengan los aditivos dentro de la zona tratada, restringiendo su expansión fuera de la zona contaminada; mientras que la presencia de fracturas favorece la filtración de los aditivos en rutas que rompen su distribución uniforme. También hay que tener presente que al agregar nutrientes al subsuelo se promoverá tanto el desarrollo de los microorganismos útiles como el de otros heterótrofos sin propiedades degradadoras, con los cuales se establecerá una competencia por los nutrientes que restará eficiencia al proceso de biorremediación (Adams, 2014). Otra técnica de biorremediación es la bioaumentación, que se ha usado como estrategia alternativa para la degradación de materia orgánica en exceso o petróleo elevando significativamente la cantidad de microorganismos y adicionando enzimas asegurando la degradación y reduciendo el tiempo necesario para realizarla. Muchas veces se realiza culti-

vando microorganismos autóctonos, en cuyo caso el éxito con esta técnica depende de la capacidad que tengan los microorganismos nativos para degradar la mayoría de los componentes del petróleo (Leahy y Colwell, 1990), mientras mantienen su viabilidad, estabilidad genética, alta sobrevivencia y competitividad en entornos hostiles, mientras se desplazan por los poros a través del sedimento para llegar a los contaminantes (Goldstein *et al.*, 1985). Una tercera técnica usada en biorremediación es la fitorremediación, es versátil pues emplea las capacidades de plantas y los microorganismos asociados a su rizosfera, como bacterias, hongos y microalgas para estabilizar, volatilizar, degradar o acumular contaminantes, este proceso utiliza la fisiología natural de las especies que en uno o varios ciclos naturales pueden lograr una limpieza eficaz de uno o varios contaminantes, orgánicos o inorgánicos, en suelo, aire o agua (Tabla 1).

Dentro de la amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos de origen antropogénico que llegan al ambiente, muchos se consideran tóxicos y se liberan de distintas fuentes. Tal es el caso de los pesticidas y her-

bicidas usados en la agricultura; solventes, combustibles, plásticos, asfalto y otros hidrocarburos de la industria petroquímica; armas químicas y explosivos desarrollados como armamento y metales pesados liberados por la minería, la industria y los vehículos automotores. Por mencionar algunos ejemplos, entre los contaminantes orgánicos más comunes (Tabla 2), se tiene el tricloroetileno (TCE) que es un solvente utilizado para la remoción de grasa en metales y se encuentra generalmente en las aguas subterráneas (Newman *et al.*, 1997; Shang *et al.*, 2003). Por otro lado, dentro de los contaminantes inorgánicos se presentan elementos naturales en la atmosfera o en la corteza terrestre y los de origen antropogénico producidos por la industria, minería y el tráfico de automóviles, que generalmente resultan tóxicos (Nriagu, 1979). Los contaminantes inorgánicos no se pueden degradar, pero si pueden ser secuestrados del suelo por la rizosfera o absorbidos y estabilizados en los tejidos vegetales (fitoestabilización) o reducirse su biodisponibilidad por compuestos químicos secretados por la raíz, fitoinmovilización (Figura 2). Estos contaminantes inorgánicos incluyen macronutrientes vegetales como nitrato y fosfato, oligoelemen-

Tabla 1. Mecanismos de fitorremediación.

Proceso	Mecanismo	Contaminante	Referencia
Fitoestimulación	Los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos del suelo capaces de degradar los contami-	Orgánicos	Molina-Romero <i>et al.</i> , 2015
Fitovolatilización	Volatilizan o evaporan contaminantes que se encuentran en el agua, sedimentos o el suelo a través de las hojas.	Orgánicos e inorgánicos	López <i>et al.</i> , 2004
Fitoestabilización	Reduce los contaminantes en el ambiente por acumulación en raíces o precipitación en la rizosfera	Orgánicos e inorgánicos	Domínguez, 2016
Fitoextracción	Utiliza la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en tallos o follaje.	Inorgánicos	López <i>et al.</i> , 2004
Rizofiltración	Utiliza las raíces de las plantas en cultivo hidropónico para absorber, adsorber y concentrar los contaminantes del agua.	Orgánicos e inorgánicos	López <i>et al.</i> , 2004

Tabla 2. Contaminantes orgánicos que se tratan con la fitorremediación.

Contaminante	Planta	Efecto	Referencia
Tricloroetileno (TCE)	<i>Populus spp</i>	Degradación por metabolismo	Ma & Burken, 2003
Perclorato	<i>Nicotiana tabacum</i>	Degradación por metabolismo	Sundberg <i>et al.</i> , 2003
Hidrocarburos de petróleo	<i>Vetiveria zizanoides</i>	Remediación	Brandt <i>et al.</i> , 2006
Metileter butiléter	<i>Populus spp</i>	Volatilización	Ma <i>et al.</i> , 2004
Fenol y clorofenoles	<i>Daucus carota</i>	Degradación por metabolismo	De Araujo <i>et al.</i> , 2002

tos vegetales como Cr, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn, elementos no esenciales como Cd, Co, F, Hg, Se, Pb, V y W e isótopos radiactivos como 238U, 137Cs y 90Sr (Dushenkov & Kapulnik, 2000; Dushenkov, 2003).

Cualidades de las algas para utilizarse en biorremediación

El éxito del uso de las microalgas en fitorremediación depende de tres condiciones: a) deben de tener una alta tasa de crecimiento, b) una alta tolerancia a la variación estacional diurna si es un sistema abierto y c) buena capacidad para formar agregados para una cosecha por simple gravedad (Park *et al.*, 2011). Sería deseable que además contaran con altos niveles de componentes celulares valiosos, por ejemplo, lípidos para generación de biodiesel (Martínez-García, 2008, Abdel-Raouf *et al.*, 2012). Algunas especies que son utilizadas en tratamientos de aguas residuales por su elevada tolerancia al ambiente y altas concentraciones de contaminantes (Tabla 3).

Procesos metabólicos o fisiológicos que permiten la remediación con algas

En el medio acuático los contaminantes inorgánicos pueden ser bioacumulados y los orgánicos biodegradados por las microalgas y cianobacterias, que además son capaces de biotransformar y biodegradar contami-

nantes aromáticos comúnmente encontrados en aguas naturales y residuales, produciendo carbono reducido y nitrógeno que son utilizados por otros microorganismos (Figura 3). De igual forma las algas y cianobacterias son útiles bioindicadoras de la contaminación ambiental y ciertas especies muy susceptibles a ella, son usadas en pruebas de toxicidad (Semple *et al.*, 1999).

Una importante problemática actual es la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Estos compuestos forman un grupo de más de 100 sus-

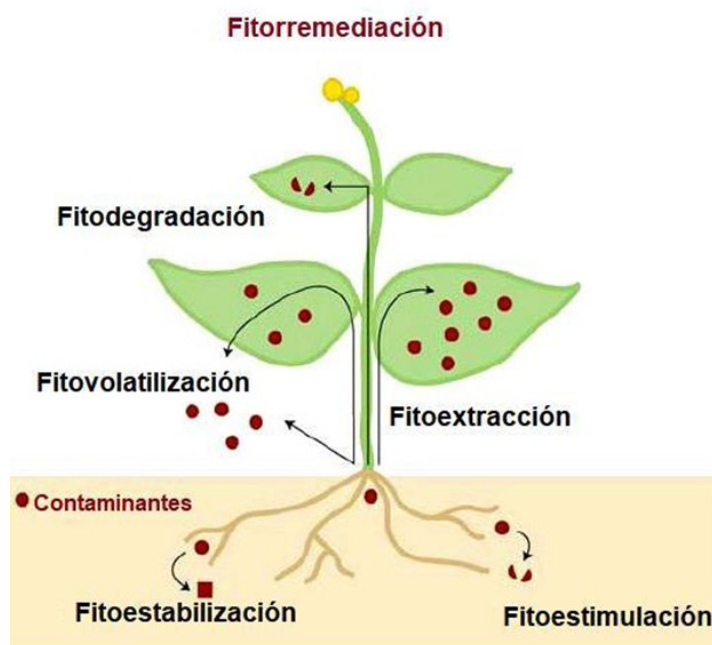
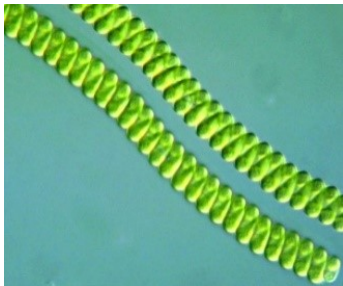
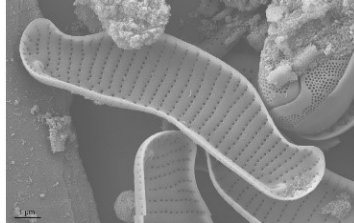
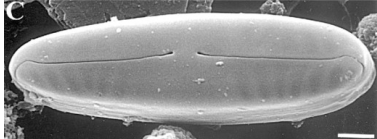
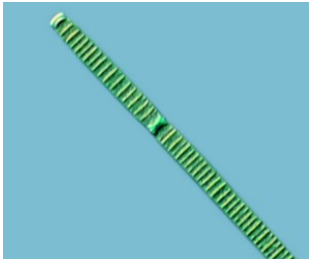
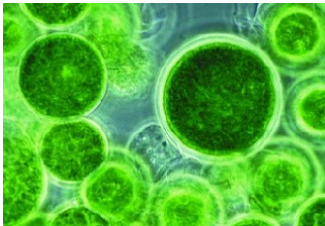
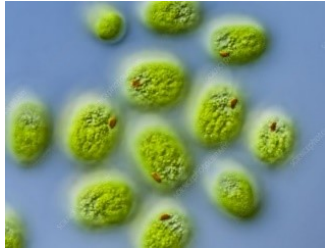
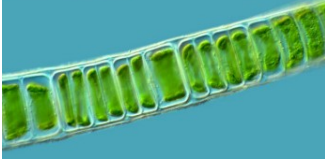


Figura 2. Procesos de fitorremediación

Tabla 3. Microalgas usadas para la remoción de contaminantes.

Especie	Aprovechamiento	Imagen	Referencia
<i>Spirulina</i> sp	-Adsorción de metales -Realcalinización de nutrientes para SRB (biomasa muerta). -Generación de alcalinidad y precipitación de metales.		Phillips <i>et al.</i> , 1995; Rose <i>et al.</i> , 1998; Van-Hille, 1999
<i>Eunotia exigua</i>	Aumento de la producción primaria		Koschorreck <i>et al.</i> , 2002
<i>Pinnularia obscura</i>	Producción primaria		Koschorreck <i>et al.</i> , 2002
<i>Oscillatoria</i> spp	Eliminación de ion SO ₄ , precipitación de metales por el consorcio		Sheoran, & Bhandari, 2005
<i>Chlorella ellipsoidea</i>	Potencial biorremediador		Mitman & Tucci (2005)
<i>Chlamydomonas</i> sp	Aumento de la producción primaria		Fyson <i>et al.</i> , 2006
<i>Ulothrix</i> sp	Absorción de metal		Orandi <i>et al.</i> , 2012

tancias químicas diferentes que se forman durante la combustión incompleta del carbón, gasolina, petróleo y tabaco o la cocción de carne en parrillas, donde generalmente se forman dos o más de ellos, por ejemplo, en el hollín (López *et al.*, 2016). Algunos HAPs son de manufacturación, puros son sólidos incoloros, amarillo-verde o blancos, se encuentran en el petróleo crudo, alquitrán, alquitrán para techado y la creosota. También algunos se usan para medicamentos o la fabricación de pesticidas y tinturas (Arias *et al.*, 2019). Se ha demostrado que la utilización de organismos fotosintéticos ha oxidado estos compuestos orgánicos (Cerniglia *et al.*, 1980).

En México se ha utilizado *Spirulina maxima* para remover HPAs utilizando fenantreno como modelo (Grupo de Biotecnología de Microalgas del CINVESTAV). Aunque es un compuesto altamente tóxico para los organismos acuáticos se logró una remoción moderada del contaminante mientras la exposición no afectó de manera directa al crecimiento o el contenido proteico de la cianobacteria, pero si la clorofila. Las tendencias de investigación sobre biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburos utilizando microalgas y cianobacterias, actualmente se enfocan en el aislamiento in situ de microalgas degradadoras; el uso de pigmentos de microalgas como biomarcadores de contaminación; el análisis de las enzimas involucradas en procesos de remoción de contaminantes, y el diseño de reactores para el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos. Sin embargo, existen escasas aportaciones sobre el diseño de equipo para remover compuestos orgánicos de aguas residuales industriales en condiciones de cultivo apropiadas para el crecimiento y actividad de las microalgas (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2006).

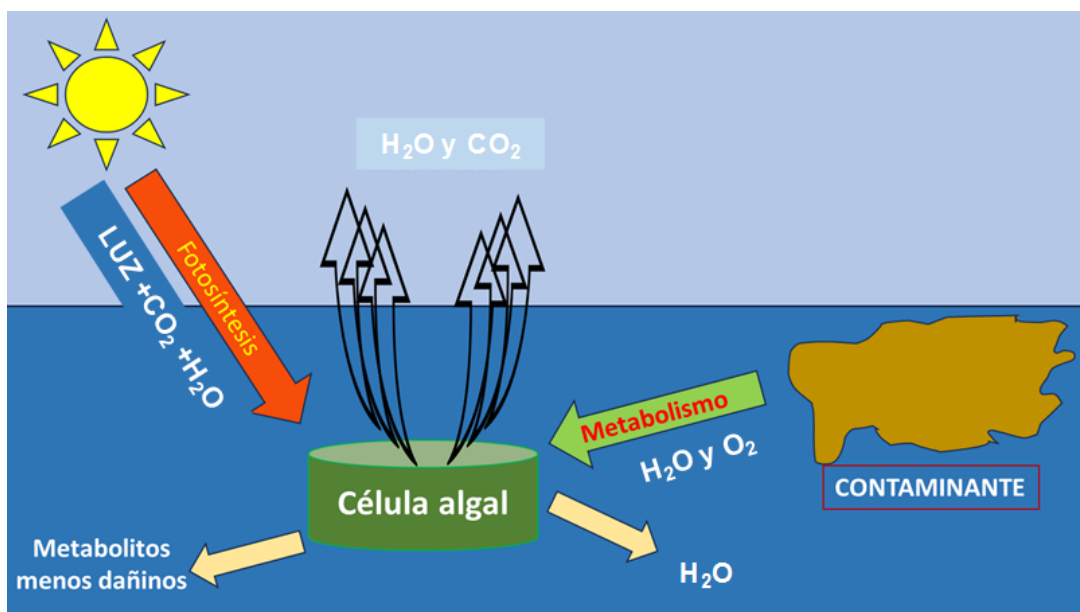


Figura 3. Biorremediación con algas.

Referencias

- Abdel-Raouf N., Al-Homaidan A.A. & Ibraheem I.B.M. 2012. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19: 257-275.
- Adams G.O., Tawari-Fufeyin P. & Igelenyah E. 2014. Bioremediation of spent oil contaminated soils using poultry litter. *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*, 3(2): 124-30
- Arias A.H., Villalón T.R., Orazi M., Ronda A.C. & Marcovecchio J. 2019. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en ambientes marinos: Una revisión de América. *JAINA, Costas y Mares ante el Cambio Climático*, 1(2): 19-40.
- Brandt R., Merkl N., Schultze-Kraft R., Infante C. & Broll G. 2006. Potential of vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils in Venezuela. *International Journal of Phytoremediation*, 8(4): 273-284.
- Cerniglia C.E., Van Baalen C. & Gibson D.T. 1980. Metabolism of naphthalene by the cyanobacterium *Oscillatoria* sp., strain JCM. *Microbiology*, 116(2): 485-494.
- De Araujo B.S., Charlwood B.V. & Pletsch M. 2002. Tolerance and metabolism of phenol and chloroderivatives by hairy root cultures of *Daucus carota* L. *Environmental Pollution*, 117(2): 329-335.
- Domínguez M.T. 2016. SPA Fitoestabilización de suelos contaminados. WOCAT. Disponible en línea en WOCAT_QT_Summary-T_SPA027es.pdf (csic.es)
- Dushenkov S. 2003. Trends in phytoremediation of radionuclides. *Plant Soil*, 249: 167-175
- Dushenkov S & Kapulnik Y. 2000. Phytofiltration of metals. *New*

- York: Wiley In Phytoremediation of toxic metals. Using plants to clean up the environment, 89-106.
- Elektorowicz M. 1994. Bioremediation of petroleum contaminated clayey soil with pretreatment. *Environmental Technology*, 15: 373-380.
- Ferrera-Cerrato R., Rojas-Avelizapa N.G., Poggi-Varaldo H.M., Alarcón A. & Cañizares-Villanueva R.O. 2006. Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(2): 179-187.
- Garbisu C., Amézaga I. & Alkorta I. 2002. Biorremediación y ecología. *Ecosistemas*, 11(3): 1-2.
- Goldstein R.M., Mallory L.M., Alexander M. 1985. Reasons for possible failure of inoculation to enhance biodegradation. *Applied and Environmental Microbiology*, 50: 977-983.
- Koschorreck M., Frommichen R., Herzsprung P., Tittel J. & Wendt-Potthoff K. 2002. Function of straw for in situ remediation of acidic mining lakes. *Water, Air Soil Pollut*, 2: 97-109.
- Leahy J.G. & Colwell R.R. 1990. Microbial Degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbial Reviews*, 53(3): 305-315.
- López R.A.N., Vong Y.M., Borges R.O. & Olguín E.J. 2004. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*, 69-83.
- Pérez-Morales López G., Morales Gómez P. & Haza Duaso A.I. 2016. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) (I). Toxicity, population exposure and foods involved. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 10(1): 3-15.
- Ma X. & Burken J.G. 2003. TCE diffusion to the atmosphere in phytoremediation applications. *Environmental science & technology*, 37(11): 2534-2539.
- Ma X., Richter A.R., Albers S. & Burken J.G. 2004. Phytoremediation of MTBE with hybrid poplar trees. *International Journal of Phytoremediation*, 6(2): 157-167.
- Martínez-García L. 2008. Eliminación de CO₂ con microalgas autóctonas. Tesis Doctoral, Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León, León. 226.
- Mitman G. & Tucci N. 2005. Algal bioremediation of the Berkeley pit lake system- An in-situ test using limnocorrals. EPA (Environmental Protection Agency), (PDF) Algal Bioremediation of the Berkeley Pit Lake System- An In-Situ Test Using Limnocorrals (researchgate.net)
- Molina-Romero D., Bustillos-Cristales M.D.R., Rodríguez-Andrade O., Morales-García Y.E., Santiago-Saenz Y., Castañeda-Lucio M. & Muñoz-Rojas J. 2015. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas*, 17(2): 24-34.
- Newman L.A, Strand S.E, Choe N., Duffy J. & Ekuon G. 1997. Uptake and biotransformation of trichloroethylene by hybrid poplars. *Environmental Science Technology*, 31: 1062
- Nriagu J.O. 1979. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. *Nature*, 279: 409-11.
- Orandi S. Lewis D.M. & Moheimani N.R. 2012. Biofilm establishment and heavy metal removal capacity of an indigenous mining algal-microbial consortium in a photo-rotating biological contactor, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 39(9): 1321-1331.
- Park J., Craggs R. & Shilton A. 2011. Recycling algae to improve species control and harvest efficiency from a high rate algal pond. *Water Research*, 45: 6637-6649.
- Phillips P., Bender J., Simms R., Rodriguez-Eaton S. & Britt C. 1995. Manganese removal from acid coal-mine drainage by a pond containing green algae and microbial mat. *Water Science Technology*, 31 (12): 161-170.
- Piehler M.F., Swistak J.G., Pinckney J.L. & Paerl H.W. 1999. Stimulation of diesel fuel iododegradation by indigenous nitrogen fixing bacterial consortia. *Microbial Ecology*, 38: 69-78.
- Rhykerd R.L, Crews B., McInnes K.J. & Weaver R.W. 1999. Impact of bulking agents, forced aeration and tillage on remediation of oil contaminated soil. *Bioresources Technology*, 67: 279-285.
- Rose P.D., Boshoff G.A., Wallace L.C.M., Dunn K.M. & Duncan J.R. 1998. An integrated algal sulphate reducing high rate ponding process for the treatment of acid mine drainage wastewaters. *Biodegradation* 9: 247-257.
- Salcedo-Martínez S.M., Moreno-Limón S. & Rocha-Estrada A. 2019. Biorremediación con algas. *PLANTA*, 15(26): 24-29.
- Semple K.T., Cain B.R. & Schmidt S. 1999. Biodegradation of aromatic compounds by microalgae. *FEMS Microbiological Letters*, 170: 291-300
- Shang T.Q., Newman L.A. & Gordon M.P. 2003. Fate of trichloroethylene in terrestrial plants. In *Phytoremediation: New York: Wile: Transformation and control of contaminants*, ed. S.C McCutcheon, J.L Schnoor, 529.
- Sheoran A.S. & Bhandari S. 2005. Treatment of mine water by a microbial mat: bench scale experiments. *Mine Water Environment* 24: 38-42.
- Sundberg S.E., Ellington J.J., Evans J.J., Keys D.A. & Fisher J.W. 2003. Accumulation of perchlorate in tobacco plants: development of a plant kinetic model. *Journal of Environmental Monitoring*, 5(3): 505-512.
- Van-Hille R.P., Boshoff G.A., Rose P.D. & Duncan J.R. 1999. A continuous process for the biological treatment of heavy metal contaminated acid mine water. *Resources Conserving and Recycling*, 27 (1): 157-167.



FICOBILINAS: USOS, APLICACIONES Y PERSPECTIVAS

D.E. Aguirre Cavazos, A.A. Orozco Flores, M.J. Ek Ramos
y J.H. Elizondo Luevano*

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Inmunología y Microbiología
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.

*joel.elizondolv@uanl.edu.mx

Resumen

Las algas (micro y macro) y cianobacterias son organismos fotosintéticos, procariotas o eucariotas, que viven en ambientes salinos o de agua dulce. Han sido reconocidas como valiosas fuentes de carbono, capaces de ser utilizadas para alimentos, piensos, productos químicos y farmacéuticos. De la gama de compuestos de valor biotecnológico producidos por estas células, algunos de los más interesantes son los pigmentos, incluidas las clorofilas, los carotenoides y las ficobiliproteínas. Las ficobiliproteínas son proteínas fotosintéticas solubles en agua que recogen la luz. En la presente revisión se enlistan de manera general las distintas actividades biológicas de las ficobilinas y los procesos para recuperar proteínas a partir de biomasa marina y de agua dulce y se discuten los disolventes y técnicas aplicados en la extracción y purificación, así como sus principales atribuciones. Finalmente, se ofrece una perspectiva sobre el aprovechamiento de las ficobiliproteínas en el desarrollo de nuevos fármacos potenciales, así como de su integración para el tratamiento de enfermedades.

Palabras clave: ficobilinas, algas, pigmentos.

Abstract

Algae (micro and macro) and cyanobacteria are prokaryotic or eukaryotic photosynthetic organisms, living in saline or freshwater environments. They have been recognized as valuable carbon sources, capable of being used for food, feed and production of chemi-

cals and pharmaceuticals. From the range of beneficial compounds produced by these cells, some of the most interesting are pigments, including chlorophylls, carotenoids, and phycobiliproteins. Phycobiliproteins are water-soluble photosynthetic proteins that harvest light. In the present review we list, in a general way, the different biological activities of phycobiliproteins and the processes that are being applied to recover proteins from marine and freshwater biomass, and discuss the solvents and techniques involved in their extraction and purification, as well as their main applications. Finally, a perspective is offered on how phycobiliproteins can be beneficial for their use and application in the development of new potential drugs and their integration into the treatment of diseases.

Keywords: phycobilins, algae, pigments.

Introducción

Las ficobilinas son un grupo de pigmentos naturales hidrosolubles que se encuentran ampliamente distribuidos en las cianobacterias (cianófitas), en las algas rodofitas, glaucófitas y en algunas criptófitas (Silva *et al.*, 2020). Estos pigmentos poseen una estructura química única y exhiben propiedades biológicas fascinantes ya que desempeñan un papel crucial en la captación de luz y la transferencia de energía en las algas en las que se presentan (Senge *et al.*, 2014), lo que ha generado un creciente interés en su estudio.

Anatómicamente, las ficobilinas se encuentran en el estroma de los cloroplastos y son pigmentos fotosintéticos unidos a proteínas hidrosolubles, dando pie a la formación de las llamadas ficobiliproteínas (ficocianina, la ficoeritrina y la aloficocianina), las cuales transmiten la energía de la luz recogida a las clorofilas para realizar la fotosíntesis (Senge *et al.*, 2014). Las ficobiliproteínas son las proteínas pigmentarias captadoras de luz de los ficobilisomas (complejos de antenas), que actúan como pigmentos fotosintéticos accesorios en las cianobacterias (Pan-utai *et al.*, 2022). Hay tres tipos de ficobiliproteínas (Figura 1 y Tabla 1), ficocianinas (pigmento azul), ficoeritrinas (pigmento rojo) y aloficocianinas (pigmento azul claro); siendo las ficoeritrinas las más abundantes en muchas especies de macroalgas rojas (Pan-utai *et al.*, 2022).

La biosíntesis de las ficobilinas se deriva del metabolismo del hemo, el cual es con la biliverdina por la hemo oxigenasa (HO) y, a continuación, la biliverdina puede ser reducida por la familia de las ficobifero reductasas (PcyA, PebA, PebB y PebS) (Kohchi *et al.*, 2001; Tooley *et al.*, 2001) y reducirse a su vez a otros tipos de ficobilinas (Li *et al.*, 2019). Y dado que el gen exógeno de la ferredoxina oxidorreductasa se encuentra relacionado con la ficocianina, puede expresarse en algunas bacterias, las ficobiliproteínas pueden producirse a gran escala mediante biosíntesis en *Escherichia coli* (Gambetta & Lagarias, 2001).

A lo largo de los años, diversas investigaciones han revelado sus aplicaciones potenciales en diversos campos, desde la biotecnología hasta la medicina (Sosa-Hernández *et al.*, 2019). En esta revisión, exploraremos de manera general los usos, las actividades biológicas, los métodos de extracción y las perspectivas futuras relacionadas con las ficobilinas.

Usos de las Ficobilinas

Las ficobilinas han encontrado una amplia gama de aplicaciones en diversos campos (Vera-López Portillo & Martínez-Jiménez, 2021). Su capacidad para absorber la luz en longitudes de onda específicas las convierte en

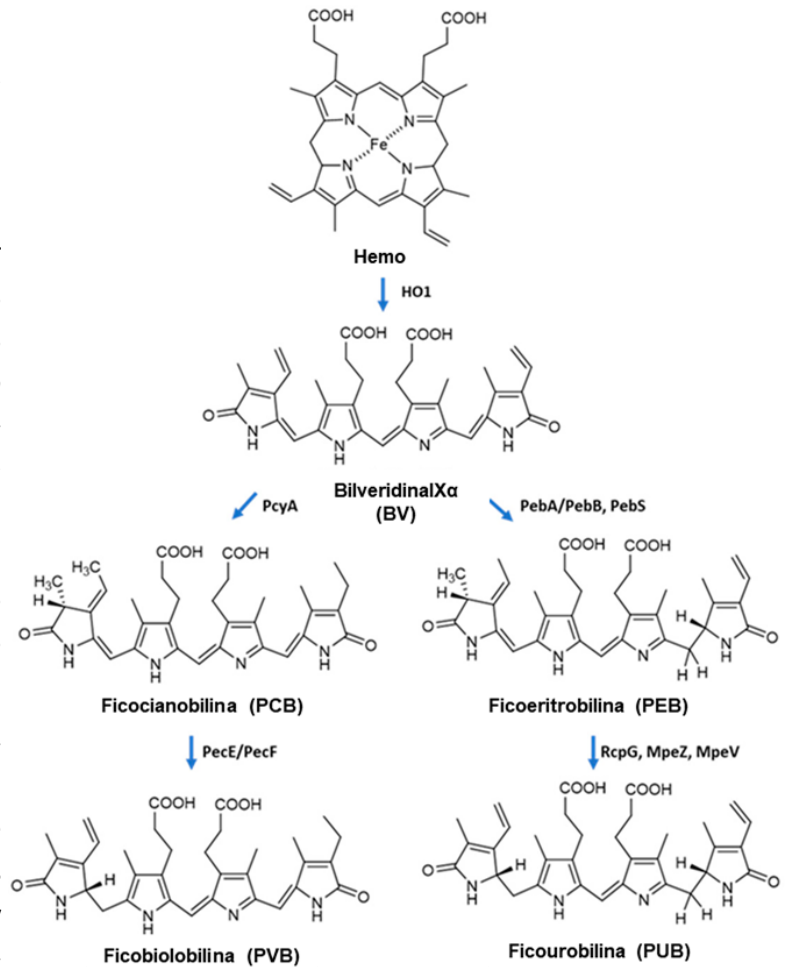


Figura 1. Estructura de las ficobilinas (Chen *et al.*, 2022; Kovaleski *et al.*, 2022).

valiosos colorantes y fluoróforos utilizados en varias disciplinas de la investigación biológica (Vargas-Rodríguez *et al.*, 2006), incluidas la inmunología, la biología molecular y la imagen celular, la microscopía de fluorescencia y la citometría de flujo (Pagels *et al.*, 2019). Su intensa fluorescencia y alto rendimiento cuántico las hacen ideales para visualizar estructuras celulares y monitorear procesos bioquímicos (Puzorjov & McCormick, 2020). Además, se han empleado en la industria de la cosmética y en la industria alimenticia como colorantes alimentarios, pues las ficobilinas poseen propiedades antioxidantes, lo que ha llevado a su uso en nutraceuticos o alimentos funcionales, ya que su capacidad para eliminar los radicales libres e inhibir el estrés oxidativo (Gallardo *et al.*, 2010), las convierte en candidatas potenciales para el desarrollo de suplementos beneficiosos para la salud (Patel *et al.*, 2022).

Tabla 1. Principales propiedades y características de las ficobilinas (Chen et al., 2022; Kovaleski et al., 2022).

Ficobilina	Ficoeritrina	Ficoeritrocianina	Ficocianina	Aloficocianina
Abs. max. (nm)	490 - 570	560 - 600	610 - 625	650 - 660
Estructura química	Complejo ($\alpha\beta$) 6γ	($\alpha\beta$) $_3$	($\alpha\beta$) $_3$	($\alpha\beta$) $_3$
Peso molecular (kDa)	240	240	30	104
Cromóforo	Ficoeritrobilina (PEB)	Ficoeritrobilina (PEB)	Ficocianobilina (PCB)	PCB y Ficobilibilina (PVB)

Actividades Biológicas de las Ficobilinas

Las ficobilinas presentan una amplia gama de actividades biológicas, lo que las hace interesantes para la investigación farmacéutica y biomédica (Chen et al., 2022). Su capacidad antioxidante ha despertado interés en la comunidad científica debido a su potencial para contrarrestar el estrés oxidativo y prevenir enfermedades asociadas con el envejecimiento y el daño celular. Además, las ficobilinas han mostrado propiedades antiinflamatorias, inmunomoduladoras y anticancerígenas en estudios in-vitro y en modelos animales, lo que sugiere su posible utilidad en el desarrollo de nuevos fármacos (Li, 2022).

Potencial farmacéutico

Estudios recientes han demostrado su potencial como agentes antimicrobianos contra diversos patógenos, entre ellos bacterias y hongos (Afzal et al., 2022). Además, las ficobilinas han demostrado propiedades anticancerígenas (Pagels et al., 2019). Las investigaciones han demostrado que estos pigmentos poseen efectos citotóxicos contra varias líneas celulares cancerosas, como el cáncer gástrico, de pulmón y cérvico uterino (Guzmán-Gómez et al., 2023; Hao et al., 2018; Rodríguez et al., 2006). Se ha descubierto que inducen la apoptosis, inhiben la proliferación celular y suprimen el crecimiento tumoral, lo que sugiere su potencial como agentes terapéuticos en el tratamiento del cáncer (Bottone et al., 2019; Liao et al., 2016). En la actualidad, las industrias han mostrado interés en la explora-

ción de las ficobilinas con fines terapéuticos; según un informe del Future Market Insights, el valor del mercado de estas fue de 112,3 millones de USD en 2018 y se estima que se duplique en 2028 (Chen et al., 2022).

Potencial antioxidante

El estrés oxidativo es el resultado de las especies reactivas del oxígeno (ROS) cuando se produce una disminución de defensa antioxidante o se produce un aumento de la producción de ROS. Estos compuestos causarán daños en macromoléculas, como proteínas, ADN y lípidos, dando lugar a un metabolismo celular anormal e incluso la muerte celular. La estructura de la ficobilina es similar a la de la bilirrubina, un antioxidante fisiológico (Strasky et al., 2013). Esta similitud puede explicar las actividades antioxidantes de las Ficobilinas. Sin embargo, varios estudios han demostrado que las apoficobilinas, que no llevan el cromóforo ficobilina, eran capaces de desactivar las ROS (Chen et al., 2022). Por otra parte, se cree que las ficobilinas quelan y reducen el ion ferroso (Fe^{3+}) de manera eficaz (Patel et al., 2018) (tabla 2), lo que implica la participación combinada de la capacidad donadora de electrones y quelante de iones metálicos de los aminoácidos constituyentes de las ficobilinas, en la expresión de la actividad antioxidante (Pendyala et al., 2021). Por ejemplo, un aminoácido con una cadena lateral hidrofóbica es un buen donante de protones y quelante de iones metálicos; del mismo modo, se supone que los aminoácidos ácidos, básicos y aromáticos secuestran iones metálicos; por

Tabla 2. Actividad antioxidante de las ficobilinas.

Ficobilina	Fuente	Mecanismo de acción	Referencia
Ficocianobilina	<i>Spirulina platensis</i>	Captación de radicales AAPH , e inhibición de la degradación del ADN mediada por ONOO ⁻ .	
	<i>Spirulina</i> sp.	Inhibición parcial de NADPH oxidasa.	(Pagels <i>et al.</i> , 2019)
	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	Inhibición de los radicales ROO.	
Ficoeritrina	<i>Halomicronema</i> sp.	Reducción de los radicales DPPH, FRAP y Fe ³⁺ .	(Patel <i>et al.</i> , 2018)
Ficocianina	<i>Spirulina</i> sp., <i>Arthrospira maxima</i>	Captación y reducción de radicales libres.	(González <i>et al.</i> , 1999; Zhou <i>et al.</i> , 2005)

AAPH: 2,2'-Dihidrocloruro de azobis(2-amidinopropano), DPPH: 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo, FRAP: Poder antioxidante férrico-reductor, ONOO⁻: Peroxynitrito, ROO: Radicales peróxido.

tal motivo, se plantea la hipótesis de que la acción antioxidante de las ficobilinas difiere en función de los distintos mecanismos asociados a las cadenas laterales de los diversos aminoácidos constituyentes (Pendyala *et al.*, 2021).

Potencial antitumoral

El cáncer es una de las principales enfermedades que causan la muerte en el mundo. A nivel celular, las células cancerosas se caracterizan por una proliferación celular indefinida, la inhibición de la apoptosis y el aumento del crecimiento celular. Por lo tanto, la terapia del cáncer con ficobilinas puede lograrse mediante la inhibición de la proliferación de las células tumorales (Hao *et al.*, 2019), la inducción de la apoptosis de las células tumorales, la detención del ciclo celular (Jiang *et al.*, 2018), y la limitación de la migración de las células tumorales (Braune *et al.*, 2021). La regulación del ciclo celular es crítica para la proliferación, diferenciación y apoptosis celular. El desarrollo del cáncer está estrechamente relacionado con la disfunción de la regulación del ciclo celular (Jiang *et al.*, 2018); las ficobilinas han demostrado la capacidad de afectar al ciclo celular, provocando su detención (Jiang *et al.*, 2019). Cada vez hay más pruebas que confirman los efectos inhibidores de las ficobilinas en diferentes tipos de cáncer, así como en la proliferación de las mismas (Hao *et*

al., 2019). Las dosis efectivas de ficobilinas pueden diferir, dependiendo de las líneas celulares tumorales (Bottone *et al.*, 2019; Hao *et al.*, 2019). Cabe destacar que altas dosis de ficobilinas no demostraron efectos adversos significativos ni citotoxicidad y mortalidad en experimentos con animales (Naidu *et al.*, 1999).

Potencial antiinflamatorio e inmunomodulador

Los efectos de las ficobiliproteínas contra las enfermedades podrían atribuirse a sus propiedades inmunomoduladoras, ya que la regulación inmunitaria es clave para el organismo frente a diversas enfermedades (Chang *et al.*, 2011). Existen estudios en donde se ha demostrado que las ficobilinas presentaban actividad antiinflamatoria en modelos in-vivo (Romay *et al.*, 2010). Las ficobilinas han presentado ciertos efectos estimulantes y promotores sobre el sistema inmunitario, ya que se ha sugerido que mejoran la actividad biológica contra las enfermedades infecciosas, mediante el mantenimiento de las funciones del sistema inmunitario (Nemoto-Kawamura *et al.*, 2004). Las ficobilinas tienen la capacidad de inducir la secreción de citoquinas inflamatorias (TNF- α , IL-1 β e IL-6) (Chen *et al.*, 2014), también pueden suprimir la síntesis de citoquinas proinflamatorias, interferón- γ y factor de necrosis tumoral- α en ratones (Grover *et al.*, 2021).

Muchos estudios demostraron que el mecanismo inmunológico por parte de las ficobiliproteínas se relaciona con su actividad antiinflamatoria a nivel celular y genético (Lee *et al.*, 2017). La actividad inmunomoduladora, por parte de las ficobiliproteínas, puede estar asociada a sus propiedades antioxidantes; estas estimulan el sistema de defensa antioxidante de los linfocitos, también pueden proteger a las células del daño oxidativo, regulando la inmunidad del organismo y aumentando su capacidad para reparar el daño celular (Ivanova *et al.*, 2010).

Aplicaciones foto-ópticas

Las ficobiliproteínas pueden utilizarse en terapia fotodinámica y otros campos, ya que pueden emitir una fuerte fluorescencia tras ser irradiadas con láser: La terapia fotodinámica es una terapia oncológica basada en el enriquecimiento de una zona de lesión con fotosensibilizadores, que causan daño oxidativo al tejido tumoral mediante la generación de radicales libres y especies activas de oxígeno, tras la iluminación (Li *et al.*, 2019). Las ficobiliproteínas poseen mayor afinidad por las células tumorales que por las normales, y debido a que también pueden utilizarse como complemento alimenticio para mejorar la inmunidad, se intuye que las ficobilinas pueden tener el efecto de inhibir el crecimiento tumoral a través de una variedad de efectos sinérgicos (Levi *et al.*, 2018).

Potencial en otras actividades biológicas

Se han descrito otras actividades, como la actividad antiviral. Éstas moléculas actúan inhibiendo la replicación en cultivos *in-vitro*; el mecanismo antiviral está relacionado con la inhibición de la proliferación del virus, y una reducción de la apoptosis celular, mediante la reducción de la tasa de síntesis del ARN viral (Shih *et al.*, 2003). También se ha demostrado la modulación de la microbiota intestinal en ratones, mediante la suplementación dietética con ficobiliproteínas recombinantes; los resultados han mostrado el aumento en la abundancia de bacterias beneficiosas y la disminución de bacterias perjudiciales (Qi *et al.*, 2019). Estos hallazgos aportan pruebas del mecanismo por el que las pro-

teínas bioactivas afectan a la salud intestinal y a la resistencia a las enfermedades en los animales. Además de los efectos antes mencionados, las ficobilinas estimulan la cicatrización de heridas a través de un mecanismo dependiente del activador del plasminógeno tipo uroquinasa (Dev *et al.*, 2020).

Se ha demostrado el papel neuroprotector de la ficobilinas en ratas, mediante la activación microglial y astrogial (Rimbau *et al.*, 1999) y prevención de la apoptosis inducida (Rimbau *et al.*, 2001). En modelos *in-vivo*, la administración de ficobilinas redujo las concentraciones séricas de glucosa y colesterol, y aumentó los valores de proteínas totales, bilirrubina y capacidad de reducción férrica de niveles de superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa, glutatión reducido, Vitamina E y C (Soni *et al.*, 2009).

Métodos de Extracción de las Ficobilinas

Las ficobilinas pueden extraerse de cianobacterias y algas rojas mediante distintos métodos, dependiendo de la fuente y los objetivos de estudio (Kovaleski *et al.*, 2022). Los enfoques más comunes incluyen la extracción con solventes orgánicos, como metanol o acetona, (extracción líquido-líquido), la extracción con fluidos supercríticos y la utilización de técnicas de cromatografía (Pan-utai *et al.*, 2022), como la cromatografía de columna o la cromatografía líquida de alta resolución; la extracción se complementa con pasos de purificación para obtener ficobilinas de alta calidad y pureza (Kovaleski *et al.*, 2022).

La extracción con solventes implica el uso de solventes orgánicos como metanol, etanol o acetona para disolver y extraer las ficobilinas de la biomasa, por otro lado, la extracción líquido-líquido utiliza dos solventes inmiscibles, para repartir los pigmentos en el solvente de extracción (Mittal *et al.*, 2019). Ya que las ficobiliproteínas son proteínas hidrófilas, se requiere además solventes convencionales, principalmente tampones (para controlar el pH del medio); para optimizar la extracción, estas soluciones pueden ser tampón fosfato, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), tampón aceta-

to o incluso agua (Hemlata *et al.*, 2018). La extracción con fluidos supercríticos emplea dióxido de carbono supercrítico como solvente, lo que ofrece ventajas, como un menor impacto ambiental y una mayor selectividad (Pan-utai *et al.*, 2022).

Conclusión

Las ficobilinas representan un grupo de pigmentos con usos versátiles, actividades biológicas prometedoras y perspectivas futuras emocionantes. Su capacidad para absorber la luz en longitudes de onda específicas, su potencial terapéutico y su relevancia en diversos campos hacen de ellas compuestos de gran interés científico y tecnológico. A medida que se profundiza en la comprensión de sus propiedades y se desarrollan nuevas técnicas de extracción y purificación, es probable que se encuentren aplicaciones aún más amplias para estos pigmentos en el futuro. Su potencial para mejorar la salud humana, contribuir a la industria y promover avances en la ciencia y la tecnología las convierte en un área de investigación en constante expansión. A medida que se desvelan sus secretos, las ficobilinas pueden convertirse en una herramienta invaluable para abordar desafíos médicos, medioambientales y tecnológicos del siglo XXI.

Perspectivas Futuras

Las ficobilinas ofrecen un inmenso potencial en diversos campos. Como colorantes naturales, constituyen una alternativa más segura y ecológica a los tintes sintéticos. El estudio de las ficobilinas está en constante evolución, y se vislumbran perspectivas emocionantes para el futuro. La investigación se centra en la búsqueda de nuevas fuentes de ficobilinas y en el desarrollo de métodos de extracción más eficientes y sostenibles. Además, se están explorando las aplicaciones terapéuticas de estos pigmentos, especialmente en el campo de la medicina regenerativa y la terapia fotodinámica para el tratamiento del cáncer. Asimismo, la ingeniería genética y la biotecnología podrían permitir la producción a gran escala de ficobilinas, lo que abriría nuevas

oportunidades en áreas como la medicina, la industria alimentaria, farmacéutica y la tecnología de pantallas. Las propiedades fluorescentes de las ficobilinas las hacen valiosas en aplicaciones de bioimagen y diagnóstico, permitiendo a los investigadores visualizar y seguir procesos biológicos. Por otra parte, las diversas actividades biológicas de las ficobilinas sugieren un papel prometedor en el descubrimiento y desarrollo de fármacos; sin embargo, se requieren más investigaciones para explorar los mecanismos subyacentes a sus actividades y optimizar sus posibles aplicaciones terapéuticas.

Email de autores: diana.aguirrecvz@uanl.edu.mx; aorozcof@uanl.edu.mx; maria.ekramos@uanl.edu.mx; joel.elizondolv@uanl.edu.mx.

Orcid: Diana E. Aguirre-Cavazos, (<https://orcid.org/0000-0001-9840-7455>), Alonso A. Orozco Flores, (<https://orcid.org/0000-0002-4891-2872>), María J. Ek-Ramos, (<https://orcid.org/0000-0002-1556-0823>), Joel H. Elizondo-Luevano (<https://orcid.org/0000-0003-2954-5939>).

Declaración de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos: Al CONAHCYT por el apoyo en las becas postdoctorales brindadas a la Dra. Diana E. Aguirre Cavazos (CVU 377977) y al Dr. Joel H. Elizondo Luevano (CVU 418935).

Referencias

- Afzal S., Yadav A.K., Poonia A.K., Choure K., Yadav A.N. & Pandey A. 2022. Antimicrobial therapeutics isolated from algal source: retrospect and prospect. *Biologia*, 78(2): 291-305. <https://doi.org/10.1007/s11756-022-01207-3>
- Bottone C., Camerlingo R., Miceli R., Salbitani G., Sessa G., Pirozzi G. & Carfagna S. 2019. Antioxidant and anti-proliferative properties of extracts from heterotrophic cultures of *Galdieria sulphuraria*. *Natural Product Research*, 33(11): 1659-1663. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1425853>
- Braune S., Krüger-Genge A., Kammerer S., Jung F. & Küpper J.H. 2021. Phycocyanin from *Arthrospira platensis* as Potential Anti-Cancer Drug: Review of In Vitro and In Vivo Studies. *Life*, 11(2): 91. <https://doi.org/10.3390/life11020091>

- Chang C.J., Yang Y.H., Liang Y.C., Chiu C.J., Chu K.H., Chou H.N. & Chiang B.L. 2011. A Novel Phycobiliprotein Alleviates Allergic Airway Inflammation by Modulating Immune Responses. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 183(1): 15-25. <https://doi.org/10.1164/rccm.201001-0009OC>
- Chen H.W., Yang T.S., Chen M.J., Chang Y.C., Wang E.I.C., Ho C.L., Lai Y.J., Yu C.C., Chou J.C., Chao L.K.P. & Liao P.C. 2014. Purification and immunomodulating activity of C-phycocyanin from *Spirulina platensis* cultured using power plant flue gas. *Process Biochemistry*, 49(8): 1337-1344. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.05.006>
- Chen H., Qi, H. & Xiong P. 2022. Phycobiliproteins—A Family of Algae-Derived Biliproteins: Productions, Characterization and Pharmaceutical Potentials. *Marine Drugs*, 20(7): 450. <https://doi.org/10.3390/md20070450>
- Dev A., Mohanbhai S.J., Kushwaha A.C., Sood A., Sardoiwala M.N., Choudhury S.R. & Karmakar S. 2020. κ -carrageenan-C-phycocyanin based smart injectable hydrogels for accelerated wound recovery and real-time monitoring. *Acta Biomaterialia*, 109: 121-131. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.03.023>
- Gallardo C.C.Á., Cano E.E., López G.G.E., Blas V.V., Olvera R.R., Franco C.M. & Ortiz Butrón R. 2010. Las ficobiliproteínas de *Spirulina maxima* y *Pseudanabaena tenuis* protegen contra el daño hepático y el estrés oxidativo ocasionado por el Hg²⁺. *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 41(2): 30-35.
- Gambetta G.A. & Lagarias J.C. 2001. Genetic engineering of phytochrome biosynthesis in bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(19): 10566-10571. <https://doi.org/10.1073/pnas.191375198>
- González R., Rodríguez S., Romay C., Ancheta O., González A., Armesto J., Ramirez D. & Merino N. 1999. Anti-inflammatory activity of phycocyanin extract in acetic acid-induced colitis in rats. *Pharmacological Research*, 39(1): 55-59. <https://doi.org/10.1006/phrs.1998.0409>
- Grover P., Bhatnagar A., Kumari N., Narayan Bhatt A., Kumar Nishad D. & Purkayastha J. 2021. C-Phycocyanin-a novel protein from *Spirulina platensis*- In vivo toxicity, antioxidant and immunomodulatory studies. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3): 1853-1859. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.037>
- Guzmán-Gómez O., García-Rodríguez R.V., Pérez-Gutiérrez S., Rivero-Ramírez N.L., García-Martínez Y., Pablo-Pérez S.S., Pérez-Pastén-Borja R., Cristóbal-Luna J.M. & Chamorro-Cevallos G. 2023. Protective Effect of the Phycobiliproteins from *Arthrospira maxima* on Indomethacin-Induced Gastric Ulcer in a Rat Model. *Plants*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/plants12081586>
- Hao S., Li S., Wang J., Zhao L., Yan Y., Wu T., Zhang J. & Wang C. 2019. C-Phycocyanin Suppresses the In Vitro Proliferation and Migration of Non-Small-Cell Lung Cancer Cells through Reduction of RIPK1/NF- κ B Activity. *Marine Drugs*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/md17060362>
- Hao S., Yan Y., Li S., Zhao L., Zhang C., Liu L. & Wang C. 2018. The In Vitro Anti-Tumor Activity of Phycocyanin against Non-Small Cell Lung Cancer Cells. *Marine Drugs*, 16(6): 178. <https://doi.org/10.3390/md16060178>
- Hemlata Afreen S. & Fatma T. 2018. Extraction, purification and characterization of phycoerythrin from *Microchaete* and its biological activities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13(October 2017): 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.11.012>
- Ivanova K.G., Stankova K.G., Nikolov V.N., Georgieva R.T., Minikova K.M., Gigova L.G., Rupova I.T. & Boteva R.N. 2010. The biliprotein C-phycocyanin modulates the early radiation response: A pilot study. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 695(1-2): 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2009.11.002>
- Jiang L., Wang Y., Liu G., Liu H., Zhu F., Ji H. & Li B. 2018. C-Phycocyanin exerts anti-cancer effects via the MAPK signaling pathway in MDA-MB-231 cells. *Cancer Cell International*, 18(1): 12. <https://doi.org/10.1186/s12935-018-0511-5>
- Jiang L., Wang Y., Zhu F., Liu G., Liu H., Ji H., Zheng S. & Li B. 2019. Molecular Mechanism of Anti-Cancer Activity of the Nano-Drug C-PC/CMC-CD59sp NPs in Cervical Cancer. *Journal of Cancer*, 10(1): 92-104. <https://doi.org/10.7150/jca.27462>
- Kohchi T., Mukougawa K., Frankenberg N., Masuda M., Yokota A. & Lagarias J.C. 2001. The *Arabidopsis* HY2 Gene Encodes Phytochromobilin Synthase, a Ferredoxin-Dependent Biliverdin Reductase. *The Plant Cell*, 13(2): 425-436. <https://doi.org/10.1105/tpc.13.2.425>
- Kovaleski G., Kholany M., Dias L.M.S., Correia S.F.H., Ferreira R.A.S., Coutinho J.A.P. & Ventura S.P.M. 2022. Extraction and purification of phycobiliproteins from algae and their applications. *Frontiers in Chemistry*, 10 (December): 1-19. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.1065355>
- Lee D., Nishizawa M., Shimizu Y. & Saeki H. 2017. Anti-inflammatory effects of dulse (*Palmaria palmata*) resulting from the simultaneous water-extraction of phycobiliproteins and chlorophyll a. *Food Research International*, 100(July): 514-521. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.040>
- Levi M., Sendersky E. & Schwarz R. 2018. Decomposition of cyanobacterial light harvesting complexes: NblA-dependent role of the bilin lyase homolog NblB. *The Plant Journal*, 94(5): 813-821. <https://doi.org/10.1111/tpj.13896>
- Li W., Su H.N., Pu Y., Chen J., Liu L. N., Liu Q. & Qin S. 2019. Phycobiliproteins: Molecular structure, production, applications, and prospects. *Biotechnology Advances*, 37(2): 340-353. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.01.008>
- Li Y. 2022. The Bioactivities of Phycocyanobilin from *Spirulina*. *Journal of Immunology Research*, 2022(Table 1): 4008991. <https://doi.org/10.1155/2022/4008991>
- Liao G., Gao B., Gao Y., Yang X., Cheng X. & Ou Y. 2016. Phycocyanin Inhibits Tumorigenic Potential of Pancreatic Cancer Cells: Role of Apoptosis and Autophagy. *Scientific Reports*, 6(1): 34564. <https://doi.org/10.1038/srep34564>
- Mittal R., Sharma R. & Raghavarao K. 2019. Aqueous two-phase extraction of R-Phycoerythrin from marine macro-algae, *Gelidium pusillum*. *Bioresource Technology*, 280(January): 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.044>
- Naidu K.A., Sarada R., Manoj G., Khan M.Y., Swamy M.M., Viswanatha S., Murthy K.N., Ravishankar G.A. & Srinivas L. 1999. Toxicity Assessment Of Phycocyanin - A Blue Colorant From

- Blue Green Alga *Spirulina platensis*. Food Biotechnology, 13(1): 51-66. <https://doi.org/10.1080/08905439609549961>
- Nemoto-Kawamura C., Hirahashi T., Nagai T., Yamada H., Katoh T. & Hayashi O. 2004. Phycocyanin enhances secretory IgA antibody response and suppresses allergic IgE antibody response in mice immunized with antigen-entrapped biodegradable micro-particles. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 50 (2): 129-136. <https://doi.org/10.3177/jnsv.50.129>
- Pagels F., Guedes A.C., Amaro H.M., Kijjoa A. & Vasconcelos V. 2019. Phycobiliproteins from cyanobacteria: Chemistry and biotechnological applications. Biotechnology Advances, 37(3): 422-443. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.02.010>
- Pan-utai W., lamtham S., Boonbumrung S. & Mookdasanit J. 2022. Improvement in the Sequential Extraction of Phycobiliproteins from *Arthrospira platensis* Using Green Technologies. Life, 12(11): 1896. <https://doi.org/10.3390/life12111896>
- Patel S.N., Sonani R.R., Jakharia K., Bhastana B., Patel H.M., Chaubey M.G., Singh N.K. & Madamwar D. 2018. Antioxidant activity and associated structural attributes of *Halomicronema phycoerythrin*. International Journal of Biological Macromolecules, 111: 359-369. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.170>
- Patel S.N., Sonani R.R., Roy D., Singh N.K., Subudhi S., Pabbi S. & Madamwar D. 2022. Exploring the structural aspects and therapeutic perspectives of cyanobacterial phycobiliproteins. 3 Biotech, 12(9): 224. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03284-2>
- Pendyala B., Patras A. & Dash C. 2021. Phycobilins as Potent Food Bioactive Broad-Spectrum Inhibitors Against Proteases of SARS-CoV-2 and Other Coronaviruses: A Preliminary Study. Frontiers in Microbiology, 12(June): 1-10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.645713>
- Puzorjov A. & McCormick A.J. 2020. Phycobiliproteins from extreme environments and their potential applications. Journal of Experimental Botany, 71(13): 3827-3842. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa139>
- Qi H., Liu Y., Qi X., Liang H., Chen H., Jiang P. & Wang D. (2019). Dietary Recombinant Phycoerythrin Modulates the Gut Microbiota of H22 Tumor-Bearing Mice. Marine Drugs, 17(12): 665. <https://doi.org/10.3390/md17120665>
- Rimbau V., Camins A., Pubill D., Sureda F., Romay C., González R., Jiménez A., Escubedo E., Camarasa J. & Pallàs M. 2001. C-Phycocyanin protects cerebellar granule cells from low potassium/serum deprivation-induced apoptosis. Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology, 364(2): 96-104. <https://doi.org/10.1007/s002100100437>
- Rimbau V., Camins A., Romay C., González R. & Pallàs M. 1999. Protective effects of C-phycocyanin against kainic acid-induced neuronal damage in rat hippocampus. Neuroscience Letters, 276(2): 75-78. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(99\)00792-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00792-2)
- Rodríguez V., Lidia A., Gallegos R., Barrita V., Luisa M., Orea C., Ramírez O., Vargas-Rodríguez A.L., Ramón-Gallegos E., Vega-Barrita M.L., Cruz-Orea A. & Olvera-Ramírez R. 2006. Efecto in vitro de las ficobiliproteínas en el tratamiento del Carcinoma Cervicouterino. Revista Del Centro de Investigación, 7(25): 1-7. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34202501>
- Romay C., Ledón N. & González R. 2010. Phycocyanin Extract Reduces Leukotriene B4 Levels in Arachidonic Acid-induced Mouse-ear Inflammation Test. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 51(5): 641-642. <https://doi.org/10.1211/0022357991772646>
- Senge M., Ryan A., Letchford K., MacGowan S. & Mielke T. 2014. Chlorophylls, Symmetry, Chirality, and Photosynthesis. Symmetry, 6(3): 781-843. <https://doi.org/10.3390/sym6030781>
- Shih S.R., Tsai K.N., Li Y.S., Chueh C.C. & Chan E.C. 2003. Inhibition of enterovirus 71-induced apoptosis by allophycocyanin isolated from a blue-green alga *Spirulina platensis*. Journal of Medical Virology, 70(1): 119-125. <https://doi.org/10.1002/jmv.10363>
- Silva A., Silva S.A., Carpena M., Garcia-Oliveira P., Gullón P., Barroso M.F., Prieto M.A. & Simal-Gandara J. 2020. Macroalgae as a Source of Valuable Antimicrobial Compounds: Extraction and Applications. Antibiotics, 9(10): 642. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9100642>
- Soni B., Visavadiya N.P. & Madamwar D. 2009. Attenuation of diabetic complications by C-phycoerythrin in rats: antioxidant activity of C-phycoerythrin including copper-induced lipoprotein and serum oxidation. British Journal of Nutrition, 102(1): 102-109. <https://doi.org/10.1017/S0007114508162973>
- Sosa-Hernández J.E., Romero-Castillo K.D., Parra-Arroyo L., Aguilar-Aguila-Isaías M.A., García-Reyes I.E., Ahmed I., Parra-Saldivar R., Bilal M. & Iqbal H.M.N. 2019. Mexican microalgae biodiversity and state-of-the-art extraction strategies to meet sustainable circular economy challenges: High-value compounds and their applied perspectives. Marine Drugs, 17(3). <https://doi.org/10.3390/md17030174>
- Strasky Z., Zemankova L., Nemeckova I., Rathouska J., Wong R.J., Muchova L., Subhanova I., Vanikova J., Vanova K., Vitek L. & Nachtigal P. 2013. *Spirulina platensis* and phycocyanobilin activate atheroprotective heme oxygenase-1: a possible implication for atherogenesis. Food & Function, 4(11): 1586. <https://doi.org/10.1039/c3fo60230c>
- Tooley A.J., Cai Y.A. & Glazer A.N. 2001. Biosynthesis of a fluorescent cyanobacterial C-phycocyanin holo- α subunit in a heterologous host. Proceedings of the National Academy of Sciences, 98(19): 10560-10565. <https://doi.org/10.1073/pnas.181340998>
- Vargas-Rodríguez A.L., Ramón-Gallegos E., Vega-Barrita M.L., Cruz-Orea A. & Olvera-Ramírez R. 2006. Efecto in vitro de las ficobiliproteínas en el tratamiento del Carcinoma Cervicouterino. Revista Del Centro de Investigación. Universidad La Salle, 7 (25): 5-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34202501>
- Vera-López Portillo F. & Martínez-Jiménez A. 2021. Pigmentos en microalgas : funciones, aplicaciones y técnicas de reproducción. BioTecnología, 25(5): 35-51. <https://smbb.mx/wp-content/uploads/2021/12/Vera-Lopez-Portillo-y-Martinez-Jimenez-2021.pdf>
- Zhou Z.P., Liu L.N., Chen X.L., Wang J.X., Chen M., Zhang Y.Z. & Zhou B.C. 2005. Factors that effect antioxidant activity of C-Phycocyanins from *Spirulina platensis*. Journal of Food Biochemistry, 29(3): 313-322. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2005.00035.x>

LOS EXTRACTOS VEGETALES AL SERVICIO DE LA HUMANIDAD

J.L. Hernández Piñero* y A. Rocha Estrada

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.
*jorge.hernandezpe@uanl.edu.mx

Resumen

Los extractos vegetales contienen una diversidad de principios activos, cuya identificación, aislamiento y purificación son de fundamental importancia en la búsqueda de tratamientos innovadores y soluciones científicas a problemas globales en los campos de interés que se describen. Las complejas moléculas bioactivas que se investigan con especial interés son aquellas que poseen potencial terapéutico y con capacidad para modular la expresión genética, constituyendo valiosos recursos de investigación biomédica, farmacológica y fitoquímica. Por otro lado, independientemente de su composición, es común en muchos laboratorios la exploración de la actividad biológica de los extractos crudos, tales como sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y antivirales que conllevan al desarrollo de nuevos antibióticos y medicamentos anticancerígenos.

Palabras clave: aceites esenciales, alimentos, nutrición, agricultura

Introducción

Durante nuestra investigación sobre la capacidad de las plantas terrestres para convertir los minerales captados por las raíces en nanopartículas metálicas en sus tejidos, nos percatamos de que las nanopartículas biosintetizadas constituían apenas un porcentaje mínimo en relación a la cantidad total de elementos absorbidos. Sin embargo, resultaba evidente que el me-

canismo biológico o bioquímico de transformación estaba presente en los componentes celulares. En ese punto, decidimos cambiar nuestra estrategia para obtener nanopartículas metálicas. Esta vez, en vez de recurrir a individuos, con sus raíces, tallos y hojas, optamos por aprovechar la maquinaria biológica presente en sus fluidos corporales, su valor de pH, los elementos presentes, las enzimas, los metabolitos secundarios y los aceites esenciales para transformar los iones elementales en sus formas metálicas de valencia cero.

Así, pasamos a trabajar de manera conveniente con algo nuevo para nosotros, que fueron los extractos vegetales. No es que haya sido novedoso, muchas industrias y procesos tecnológicos se basan en el uso de extractos vegetales. A través de sus procesos metabólicos, las plantas producen una variedad de complejas moléculas en sus fluidos celulares que desempeñan funciones fisiológicas específicas. Afortunadamente, muchos de estos compuestos exhiben aplicaciones de gran relevancia para los seres humanos, siendo lo mejor, que pueden ser extraídos de forma relativamente fácil.

Los métodos de extracción más comunes son la maceración, infusión y destilación por arrastre de vapor. Estos se emplean según el compuesto de interés que se desea obtener. En primer lugar, se colecta el mate-

rial vegetal de los órganos de la planta, como hojas, flores, raíces o la corteza del tallo. En el proceso de maceración, las muestras de material vegetal se sumergen en un solvente líquido y se trituran hasta que gran parte de sus esencias se liberen en el líquido de extracción. Luego, se procede a filtrar el líquido para separarlo de las partes sólidas del material vegetal.

Para extraer compuestos de materiales más delicados se emplea más comúnmente la infusión, en la que el material vegetal se sumerge en el líquido de extracción a temperaturas cálidas durante un período de tiempo específico, como cuando preparamos té de bolsita. Por otro lado, en la destilación por arrastre de vapor, el material vegetal triturado o cortado en pequeños pedazos se coloca sobre agua hirviendo. El vapor que fluye por la muestra ayuda a liberar los compuestos volátiles, en especial los aceites esenciales, que luego se recuperan mediante condensación y técnicas de separación de fases. A continuación, se presenta un resumen de las aplicaciones más relevantes de los extractos vegetales.

Medicina tradicional

La etnobiología en México se ha encargado de rescatar los saberes de la medicina tradicional mexicana. El conocimiento de las plantas y sus propiedades curativas han sido transmitidos de generación en generación entre las poblaciones indígenas y habitantes del medio rural, generando un gran repertorio de especies botánicas nativas que contienen compuestos bioactivos con propiedades antiinflamatorias, analgésicas, antimicrobianas y antioxidantes que ayudan a la población en general a tratar diversas dolencias y promover la salud.

Es frecuente encontrar respaldo científico que demuestra la efectividad de muchos extractos vegetales utilizados en México y su incorporación en la medicina convencional. Por lo tanto, la utilidad de los extractos vegetales se extiende más allá de las fronteras culturales, ya que ofrecen perspectivas valiosas para la investigación médica y la búsqueda de tratamientos naturales efectivos que la complementen. El uso de la manzanilla

como calmante y para el alivio de trastornos digestivos es uno de innumerables ejemplos en México.

Nutrición

Muchos suplementos dietéticos y nutricionales con propiedades benéficas para la salud se fabrican a partir de extractos vegetales, ya que estos contienen compuestos bioactivos que pueden complementar la dieta y mejorar la salud en diferentes aspectos, como nutrientes esenciales, antioxidantes, vitaminas y minerales ausentes en la alimentación diaria. Algunos compuestos presentes en extractos de ciertas plantas pueden incluso contener compuestos psicotrópicos que ayudan a controlar el estrés y la ansiedad, además de favorecer la función inmunológica.

Estos efectos permiten aplicaciones, desde mejorar la energía corporal y el rendimiento deportivo hasta promover la salud cardiovascular y la función cerebral. Los extractos vegetales también se utilizan para apoyar en la pérdida de peso, mejorar la digestión y regular los niveles de azúcar en la sangre, por lo que hoy día existe una gran demanda de opciones para mejorar el estado de salud y prevenir malestares que estén basadas en productos hechos a base de extractos vegetales. Sin embargo, es importante destacar que la efectividad de estos productos puede variar según la calidad y la concentración de los extractos utilizados. Por ejemplo, el ácido linolénico que se obtiene de especies botánicas, como la chía, linaza, nuez y ciertas algas, puede servir de fuente de ácidos grasos que son convertidos a Omega-3 en nuestro organismo.

Industria cosmética

Cada día se refuerza la tendencia entre los consumidores de productos cosméticos la adquisición de productos de origen natural. Los extractos de ciertas especies vegetales ofrecen una fuente natural de compuestos bioactivos con propiedades hidratantes, antioxidantes, antiinflamatorias y rejuvenecedoras, aportando beneficios y propiedades que mejoran la salud y la apariencia de la piel y el cabello. Ayudan a mejorar la hidratación,

reducir la apariencia de arrugas y líneas finas, calmar la irritación y proteger contra el estrés ambiental.

Este es uno de los campos donde mayor investigación se ha realizado de manera científica para respaldar los beneficios de estos productos. Diversos estudios han demostrado la capacidad de ciertos compuestos para promover la regeneración celular, reducir la inflamación y proteger contra el daño causado por los radicales libres en la piel. Por ejemplo, los extractos de té verde se han utilizado en productos tópicos para mejorar la resistencia de la piel al sol y reducir la inflamación ¿alguna vez has probado ponerte rodajas de pepino sobre los párpados?

Producción industrial de alimentos

Los extractos vegetales aportan una amplia variedad de beneficios en la elaboración de alimentos, influyendo positivamente en aspectos como sabor, color, textura, conservación y valor nutricional. Varias especies botánicas se usan regularmente como condimentos para realzar el sabor, aroma y color de los alimentos. Además, el contenido de los extractos vegetales pueden ser fuente de agentes espesantes o gelificantes que ayudan a darle mayor consistencia a mermeladas, salsas y otros productos (Figura 1).

Por otro lado, algunos extractos se utilizan para enriquecer alimentos con nutrientes esenciales, como vitaminas y minerales, aportando así un mayor valor nutricional. Sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas naturales, convierte a los extractos vegetales en una opción preferida para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos sin necesidad de recurrir a aditivos artificiales. Por ejemplo, la adición de canela en postres y bebidas calientes no solo realza su sabor, sino que también contribuye a prolongar su vida útil y mejora sus propiedades organolépticas.

Del mismo modo, extractos de cúrcuma, betabel, tomate, zanahoria, paprika y azafrán se emplean como colorantes y saborizantes naturales en alimentos, satisfaciendo la demanda de productos más saludables y atractivos para los consumidores.

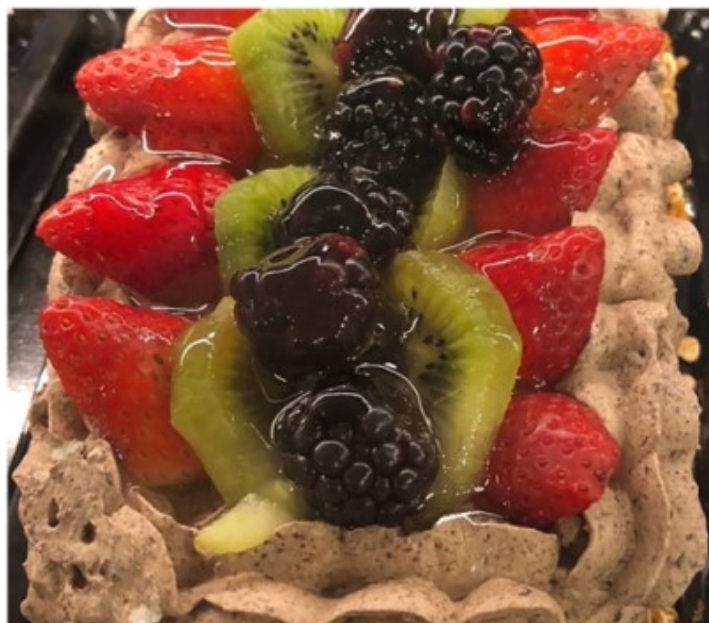


Figura 1. El realce de colores para mejorar la apariencia de alimentos regularmente se obtiene de pigmentos vegetales.

Agricultura moderna

Los extractos vegetales desempeñan un papel esencial en la agricultura moderna, ofreciendo soluciones naturales y sostenibles para mejorar la producción de cultivos y promover prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente. Estos extractos, derivados de diversas plantas, contienen compuestos que pueden tener propiedades pesticidas, fungicidas y estimulantes del crecimiento. Esto permite que se puedan aplicar sobre los cultivos y jardines para ayudar a controlar plagas y enfermedades de manera efectiva sin los efectos adversos de los pesticidas químicos.

También se utilizan como estimulantes del crecimiento al favorecer la absorción de nutrientes y el desarrollo de raíces, mejorando así la salud de las plantas y aumentando la resistencia al estrés biótico y abiótico. Se pueden seleccionar extractos específicos según sea el problema que se quiere erradicar. Estas prácticas también ayudan indirectamente a preservar la salud humana, ya que su empleo ayuda a disminuir el uso de pesticidas químicos que pueden llegar a nosotros por bioacumulación en su paso por la cadena trófica. Similarmente, ayuda a mantener la biodiversidad en los

ecosistemas agrícolas y preservar el medio ambiente. Por ejemplo, los extractos de girasol sirven de herbicida debido a sus propiedades alelopáticas.

Aceites esenciales

Los aceites esenciales son extractos altamente concentrados de las sustancias aromáticas y beneficiosas presentes en las plantas. Su uso abarca diversos campos, desde la aromaterapia hasta la industria cosmética y la fabricación de productos de limpieza. Su obtención y purificación se hace complicada en comparación con otros extractos debido a la volatilidad de los componentes y su solubilidad en diferentes solventes polares.

Estos aceites esenciales encuentran una amplia aplicación en la aromaterapia, donde se utilizan para promover el bienestar emocional y físico. También son ingredientes valiosos en la formulación de productos cosméticos naturales, como cremas, lociones y perfumes, sobre todo a partir de los componentes florales de las plantas. Además, los aceites esenciales tienen propiedades antimicrobianas y se incorporan en productos de limpieza y desinfección (Figura 2).

Colorantes textiles

Las plantas tienen una amplia gama de pigmentos con funciones fisiológicas que tienen que ver con su reproducción y captación de la energía solar fundamentalmente. Estos pigmentos se extraen y se aprovechan en la industria textil y la producción de colorantes naturales para teñir fibras de manera sostenible y libre de químicos sintéticos.

Los pigmentos naturales que se adhieren a las fibras proporcionan colores únicos y auténticos, que no solo son visualmente atractivos, sino también amigables con el medio ambiente. Además, fomenta la conservación de tradiciones culturales y técnicas ancestrales de teñido. El inconveniente de su uso es la poca estabilidad de los colores vegetales en las fibras textiles, sin embargo, de la hoja de *Quercus* se obtiene un colorante fuerte que logra fijarse a la tela y no se pierde con el lavado.



Figura 2. La extracción de aceites esenciales a partir de plantas aromáticas es una actividad muy dinámica.

Industria papelera

Estos extractos, obtenidos de diversas plantas, se utilizan como aditivos naturales en la fabricación de productos de papel para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas de un modo amigable con el ambiente. Los componentes de estos extractos actúan como agentes fortificantes que aumentan la resistencia del papel. También pueden utilizarse aditivos naturales que ayudan a mejorar la retención de tinta, la capacidad de impresión y la durabilidad en condiciones adversas. Por ejemplo, el almidón que se extrae de diferentes vegetales se usa como agente de encolado para mejorar las propiedades de impresión y escritura del papel.

Limpieza y desinfección

El potencial antimicrobiano y desodorizante de ciertos extractos vegetales los convierte en aliados en la creación de entornos limpios y saludables sin comprometer la seguridad y la sostenibilidad, ya que contienen aceites esenciales y otros compuestos fitoquímicos que



Figura 3. La naturaleza ofrece una gran variedad de recursos y metabolitos secundarios que se aplican en una amplia gama de actividades industriales y artesanales.

pueden ayudar a eliminar gérmenes, bacterias y virus de manera eficaz sin dejar residuos químicos sintéticos dañinos. Esto no solo promueve un entorno más seguro para las personas y las mascotas, sino que también reduce la liberación de sustancias tóxicas al medio ambiente por vaporización, siendo una probable alternativa al uso de productos sintéticos comerciales cuando no se necesita que sean altamente abrasivos. Usar vinagre extraído de manzanas o uvas es el ejemplo más popular para eliminar gérmenes, bacterias y hongos, extractos del limón para desinfectar superficies, eliminar manchas y dar aroma fresco.

Conclusión

En los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL, se llevan a cabo investigaciones de gran relevancia sobre el efecto de los componentes de los extractos vegetales en diversos campos, como la bioseguridad alimentaria, la salud humana y animal, la biotecnología y la microbiología. Estos logros son posibles gracias al incansable trabajo de numerosos investigado-

res, y especialmente de sus estudiantes de licenciatura y posgrado, que se esfuerzan por contribuir al bienestar de la humanidad y resolver problemas que afectan a nuestro país a través de la realización de sus tesis de grado. Fue así como nuestra investigación inicial sobre el uso de extractos vegetales para llevar a cabo una síntesis ecológica de nanopartículas metálicas contribuyó a aplicar este recurso en la industria de la nanotecnología, la cual permite obtener la materia prima necesaria para la fabricación de una amplia gama de productos nanotecnológicos actuales de manera segura a los trabajadores y al ambiente. Todos estos avances y aplicaciones tan beneficiosos a la humanidad se han dado gracias, una vez más, a la rica biodiversidad vegetal que nos rodea y que merece nuestro cuidado y conservación (Figura 3).

Referencias

- Benavides Mendoza A., Hernández Valencia R.E., Ramírez Rodríguez H. & Saldoval Rangel A. 2010. Tratado de Botánica económica moderna. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila. 333.
- Espinoza Carranza N.N. y Rocha Estrada A. 2019. Los aceites esenciales y su importancia. *PLANTA*, 15 (26): 7-10.
- Simonetti G. 1990. Guía de hierbas y especias. Ediciones Grijalbo, Barcelona. 255
- Valenzuela C. & Pérez P. 2016. Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárnicos. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(2): 188-195.
- Valdez Marroquín M.A. 2022. Potencial biofertilizante de extractos vegetales de bajo peso molecular obtenidos a partir de plantas invasoras. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. 70.

HONGOS MEDICINALES DE NUEVO LEÓN

A.J. Morales Tovar*, C.M. Rangel Patiño, M.M. Cordero Olivo,
E.E.R. Villanueva Mendoza, M.A. Alvarado Vázquez y S.M. Salcedo Martínez

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.

*adriana.moralestvr@uanl.edu.mx

Resumen

Los hongos forman parte del patrimonio biocultural de México al formar parte importante de la dieta, medicina tradicional y cultura de diferentes comunidades. Además de ser un alimento nutritivo, algunos hongos poseen compuestos bioactivos útiles en el tratamiento de la hipercolesterolemia, trombosis, inflamación, fatiga, hipertensión y condiciones metabólicas crónicas. En México se reconocen 350 especies de hongos medicinales, de las cuales 113 se distribuyen en Nuevo León de acuerdo con los registros de la plataforma Naturalista. Entre las especies que ayudarían al tratamiento de las principales enfermedades que causan mortandad en el país simplemente incorporándolas en la dieta se encuentran *Agaricus bisporus*, *Ganoderma lucidum*, *Irpex lacteus*, *Fomitiporia punctata*, *Hericium erinaceus* e *Irpex lacteus* para prevenir enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares; *Hericium erinaceus*, *Pleurotus citrinopileatus*, *Hypsizygus ulmarius*, *Cordyceps karmontana*, *Chroogomphus rutilus*, *Catathelasma ventricosum*, *Coprinus comatus*, *Coprinellus micaceus*, *Russula emetica*, *Phellinus igniarius*, *Ophiocordyceps sobolifera* y *Lycoperdon utriforme* poseen propiedades anti-diabéticas y *Lentinula edodes*, *Cordyceps militaris*, *Auricularia cornea*, *Sarcodon imbricatus*, *Neolentinus lepideus*, *Dictyophora indusiata* y *Albatrellus confluens* actividad anticolesterolemica, lo cual reduce el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares.

Palabras clave: Principios bioactivos fúngicos, hongos antitumorales, hongos anticáncer, hongos hipocolesterolémicos, hongos hipoglucemiantes.

Introducción

Los hongos son uno de los recursos forestales no maderables más importantes de México, tanto desde el punto de vista ecológico como el social (Burrola-Aguilar *et al.*, 2012), ya que las comunidades indígenas del país los utilizaron desde la época prehispánica para obtener ingresos, alimento, con fines lúdicos o místicos o recuperar la salud, por lo que forman parte del patrimonio biocultural nacional (CONABIO, 2023).

La micofilia que es el sentimiento de simpatía y aprecio por los hongos, se desarrolla en la gente debido a que están presentes en su dieta, medicina tradicional y en diversas actividades culturales de su comunidad (Ruan Soto, 2019) y es más frecuente en las poblaciones rurales donde la cultura ecológica es más amplia. Precisamente es en ellas donde encontramos una mayor diversidad en el empleo de los hongos, como es el caso de grupos étnicos como los chinantecos, chontales, choles, mayas, matlatzincas, mazahuas, mazatecos, mixtecos, nahuas, otomíes, purépechas, rarámuris, tepehuanes, totonacos, wi-rráritari, zapotecos y zoques (Lara-Vázquez *et al.*, 2013).

Además de ser un alimento nutritivo en fresco, los hongos se comercializan secos o procesados como suplementos dietéticos, alimentos funcionales, nutracéuticos y como medicamentos. Las propiedades me-



A) *Agaricus bisporus*, B) *Albatrellus confluens*, C) *Albatrellus ovinus*

dicinales de los hongos incluyen actividades antimicrobianas, antifúngicas, antivirales, citostáticas, enzimáticas, reguladoras de crecimiento, hepatoprotectoras, antitumorales, anticancerígenas, potenciadoras del sistema inmunológico y útiles en el tratamiento de la hipercolesterolemia, trombosis, inflamación, fatiga, hipertensión y condiciones metabólicas crónicas (Gora, 2022; Kumar *et al.*, 2021; Valencia del Toro, 2020; Venturella *et al.*, 2021).

Mientras en Norteamérica se han estudiado y reportado 79 especies de hongos como poseedoras de propiedades medicinales (Zheb y Lee, 2021), en la actualidad la terapéutica tradicional mexicana atiende 150 padecimientos con el empleo de 350 especies de hongos medicinales (CONABIO, 2020).

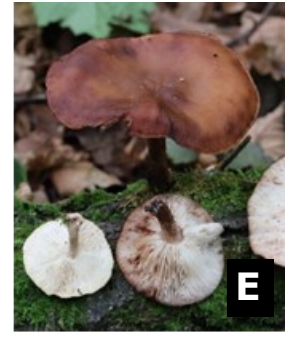
La capacidad de los hongos de interactuar con nuestro cuerpo para fomentar la salud se debe a metabolitos que producen como respuesta ecológica a los estímulos

ambientales, lo que les permite competir y sobrevivir exitosamente en su medio. Las principales sustancias bioactivas detectadas en los hongos se encuentran en grupos químicos como polisacáridos, terpenoides y compuestos fenólicos, glicoproteínas, policétidos, esteroides, y alcaloides, las cuales pueden adquirirse al consumir los hongos en la dieta o productos procedentes de sus cuerpos fructíferos, micelio o el sobrenadante del medio de cultivo donde se ha cultivado su micelio (Kumar *et al.*, 2021; Seo y Choi, 2021).

En general, los polisacáridos como β -glucanos, manoglucanos, heteroglucanos, peptidoglucanos, complejos proteína-polisacárido y galactomananos, tienen actividad antitumoral, antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana, antiviral y antidiabética, además de un efecto inmunomodulador específico que resulta útil en el tratamiento del cáncer, porque pueden reducir los efectos colaterales de su tratamiento y así mejorar la calidad de vida de los pacientes (Rahi y Malik, 2016). Los terpe-



A) *Auricularia cornea*, B) *Cathelasma ventricosum*, C) *Chroogomphus rutilus*



A) *Coprinus comatus*, B) *Cordyceps militaris*, C) *Coriolus versicolor*, D) *Dictyophora indusiata*, E) *Lentinula edodes*

nos y terpenoides estimulan la expresión génica para la síntesis de proteínas moduladoras de la respuesta inmune y tienen propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y antitumorales (Venturella *et al.*, 2021), afectan la diferenciación de los adipocitos y exhiben actividad antimicrobiana, anti-colinesterasa, antiviral, antiinflamatoria e inhibitoria de la producción de óxido nítrico (Rahi y Malik, 2016). Los compuestos fenólicos poseen actividad inhibitoria de la producción de óxido nítrico, antiinflamatoria, antiviral y antioxidante (Rahi y Malik, 2016). Ciertas proteínas también tienen propiedades citotóxicas, antitumorales, antiproliferativas, anticancerígenas o inmunomoduladoras (Venturella *et al.*, 2021).

Dentro de los hongos medicinales más comunes se mencionan a *Coriolus versicolor* (tunzhi en China, turkey tail en EUA) por sus propiedades como promotor de la salud, fortaleza y longevidad, también se emplea rutinariamente en China y Japón en la quimio y radio terapia de cáncer debido a que sus polisacáridos PSP (péptido polisacárido) y PSK o krestina (glicoproteína) reducen los efectos adversos. El PSP tiene además efectos

inmunomoduladores, antitumorales, antiinflamatorios y antivirales, además de propiedades como protector hepático, balanceador de sistemas, antiúlceras, anti-vejeamiento y potenciador de la memoria y el aprendizaje. Así también el PSK ha mostrado efectos citotóxicos anticáncer, antitumoral, de fortalecimiento de la respuesta inmunológica, antiinflamatorio y reduce el riesgo cardiovascular relacionado a la hiperlipidemia.

Ganoderma lucidum (Zhi o Reishi en Asia) produce más de 400 metabolitos bioactivos. En general promueve el bienestar y la longevidad y sus propiedades farmacológicas como anticancerígeno, hipoglucemiante, inmunomodulador, antihipertensivo, citotóxico, antidiabético, antioxidante, antihiperlipidémico, antimutagénico, anti-vejeamiento, antimicrobiano, hepatoprotector, entre muchas otras, se atribuyen a triterpenos o triterpenoides como los ácidos ganodéricos, ganodérmico, alcoholes ganodérmicos, ácidos lucinéuticos y lucidonas o a polisacáridos como alfa y beta glucanos y ganoderano. *Lentinula edodes* (Shiitake en China) contiene lentinano (betaglucano) que por su actividad inmunomoduladora, antiinflamatoria, citotóxica, antiproliferativa e inductora de apoptosis se emplea en el tratamiento



A) *Sarcodon imbricatus*, B) *Russula emética*, C) *Pleurotus ostreatus*



A) *Hypsizygus ulmarius*, B) *Irpex lacteus*, C) *Ganoderma lucidum*

de cáncer gástrico y potencialmente en el carcinoma de laringe y adenocarcinoma cervical.

A los extractos acuosos y alcohólicos de diferentes especies de *Pleurotus* se les atribuye actividades antioxidativa, antimicrobiana, antidiabética, anticáncer, antiinflamatoria, inmunomoduladora, antihipercolesterolemica, antihipertensiva, hepatoprotectora y antienvjecimiento, pero frecuentemente los metabolitos responsables no se han identificado o caracterizado y sus mecanismos no se han aclarado. La fracción D o GFP de *Grifola frondosa* (Maitake), corresponde a un proteo-betaglucano con un demostrado efecto antitumoral e hipoglicémico, pero este hongo posee más compuestos bioactivos, como una glicoproteína que induce apoptosis en células de cáncer estomacal. *Hericium erinaceus* (lyon's mane, yamabushitake) tiene propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticáncer, inmunoesti-

mulantes, antidiabéticas, antimicrobianas, hipolipidémicas y antihiperглиcémicas. Sin embargo, produce erinacinas (diterpenoides de ciatina) y ericenonas (derivados del alcohol bencílico) que poseen efectos neurotópicos y neuroprotectores e inducen el factor de crecimiento neuronal, por lo que es muy frecuentemente usado en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson y el deterioro cognitivo. *Agaricus bisporus* o champiñón contiene betaglucanos, ergosterol, ergotioneina, vitamina D, flavonoides, además de aminoácidos esenciales, péptidos, glicoproteinas, nucleósidos, triterpenoides, lectinas, ácidos grasos y sus derivados, por lo que se ha señalado su potencial importancia como agente antimicrobiano, anticáncer, antidiabético, antihipercolesterolemico, antihipertensivo, hepatoprotector, nefroprotector y antioxidante (Hobbs, 1995; Venturella, 2021).



A) *Pleurotus citrinopileatus*, B) *Ophiocordyceps sobolifera*, C) *Phellinus igniarius*



A) *Fomitiporia punctata*, B) *Neolentinus lepideus*, C) *Lycoperdon utriforme*

Material y método

Buscando obtener de manera práctica una lista confiable de hongos medicinales que ocurren en México, comparamos los reportados por Wu (2019) como utilizados en la medicina tradicional oriental con los registros de hongos para México que aparecen en la plataforma Naturalista Una comunidad para Naturalistas-NaturaLista Mexico. El resultado de coincidencias entre ambos registros con la distribución para México por estados de cada especie y sus actividades reportadas se puede consultar en <https://www.naturalista.mx/>. De este listado de hongos medicinales mexicanos se obtuvieron aquellos reportados para el estado de Nuevo León. Por último, se comparó la lista obtenida para México contra el listado de hongos medicinales reportado por Zeb y Lee (2021) para Norteamérica.

Resultados

El número total de hongos medicinales orientales que también se distribuyen en México es de 313 especies (Wu, 2019 y Naturalista). Además, 113 de esas especies han sido registradas para Nuevo León. Por otra parte, sólo 24 especies coinciden entre la lista de especies medicinales obtenida para México con las 79 especies reportadas para Norteamérica, por lo que 368 especies de hongos medicinales se encuentran desde México hacia el norte del continente.

Las principales actividades que se citan para las 313 especies medicinales mexicanas son 156 menciones como antitumorales, 110 como antimicrobianos y 100

que ayudan al sistema metabólico, principalmente como antioxidantes. Otras actividades reportadas son: para tratar enfermedades o condiciones del sistema circulatorio (53), del sistema inmunológico (48), del sistema digestivo (30), del nervioso (23), del respiratorio (22) y del musculo esquelético (18), además como antiinflamatorio (38), para el adormecimiento de extremidades (27) o como desinfectante (18).

Respecto a los hongos con propiedades contra las principales enfermedades causantes de muerte en el país, se cuentan a *Agaricus bisporus*, *Ganoderma lucidum*, *Irpex lacteus* y *Fomitiporia punctata*, para disminuir la presión arterial. Estos se podrían combinar con *Hericium erinaceus* e *Irpex lacteus* para prevenir enfermedades cardiacas y accidentes cerebrovasculares por sus efectos antitrombosis y anticoagulante, respectivamente. Por otra parte, *Hericium erinaceus*, *Pleurotus citrinopileatus*, *Hypsizygus ulmarius*, *Cordyceps karmon-tana*, *Chroogomphus rutilus* y *Catathelasma ventricosum* son seis especies que poseen tanto actividad hipoglucemiante como hipocolesterolémica. Mientras que *Coprinus comatus*, *Coprinellus micaceus*, *Russula emetica*, *Phellinus igniarius*, *Ophiocordyceps sobolifera* y *Lycoperdon utriforme* son seis especies con propiedad antidiabética y *Lentinula edodes*, *Cordyceps militaris*, *Auricularia cornea*, *Sarcodon imbricatus*, *Neolentinus lepideus*, *Dictyophora indusiata* y *Albatrellus confluens* son siete especies con actividad anticolesterolémica lo cual reduce el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares. Por otro lado, los hongos que podrían ayudar con las enfermedades nerviosas tenemos a Al-



A) *Coprinellus micaceus*, B) *Ustilago maydis*

batrellus ovinus y *Lycoperdon utriforme* para tratar el Alzheimer, *Chroogomphus rutilus* para el Parkinson y *Hericium erinaceus* para mejorar los casos de impedimento cognitivo.

Conclusión

En el estado de Nuevo León hay una riqueza de hongos medicinales subutilizada. Esto probablemente debido a que la sociedad en general es micófoba, ya que sólo acostumbra a comer las especies que se venden en los supermercados, principalmente los champiñones *Agaricus bisporus* y el cuitlacoche *Ustilago maydis* en fresco o enlatados, y en mucho menor grado el hongo ostra *Pleurotus ostreatus* y el shiitake *Lentinula edodes* también en fresco.

Referencias

CONABIO. 2020. Hongos y líquenes medicinales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd de México. México. Recuperado el 01 de agosto del 2023 de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/medicinal/hongos-liquenes>.

Gora A. 2022. What are medicinal mushrooms? LiveScience recuperado el 01 de agosto del 2023 de <https://www.livescience.com/what-are-medicinal-mushrooms>.

Hobbs C. 1995. Medicinal Mushrooms. An exploration of Tradition, Healing & Culture. Botanica Press, TN USA 251 p.

Kumar K., Mehra R., Guiné R.P.F. Lima M.J., Kumar N.,

Kaushik R. Ahmed, N. Yadav A.N. & Kumar H. 2021. Edible Mushrooms: A Comprehensive Review on Bioactive Compounds with Health Benefits and Processing Aspects. *Foods*, 10(12): 2996. doi: 10.3390/foods10122996.

Lara-Vázquez F., Romero-Contreras A.T., & Burrola-Aguilar C. 2013. Conocimiento tradicional sobre los hongos silvestres en la comunidad otomí de San Pedro Arriba; Temoya, Estado de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 10(3): 305-326.

Rahi D.K. & Malik D. 2016. Diversity of mushrooms and their metabolites of nutraceutical and therapeutic significance. *Journal of Mycology*, 18 pp. <https://doi.org/10.1155/2016/7654123>

Ruan Soto F. 2019. Micofilia y micofobia, del amor al odio por los hongos. *Arqueología Mexicana*, 87: 38-39.

Seo D.J. & Choi C. 2021. Antiviral bioactive compounds of mushrooms and their antiviral mechanisms: A Review. *Viruses*, 13(2): 350. doi: 10.3390/v13020350.

Valencia del Toro G. & Garín Aguilar M.E. 2012. Propiedades medicinales de los hongos comestibles. En J. E. Sánchez V. y G. Mata (Eds) *Hongos Comestibles y Medicinales en Iberoamérica*. El Colegio de la Frontera Sur-Instituto de Ecología. 297-308.

Venturella G., Ferraro V., Cirlincione F. & Gargano M.L. 2021. Medicinal Mushrooms: bioactive compounds, use, and clinical trials. *International Journal of Molecular Science*, 22(2): 634. doi: 10.3390/ijms22020634

Wu F., Zhou L.W., Yang Z.L., Bau T., Li T.H. & Dai Y.C. 2019. Resource diversity of chinese macrofungi: edible, medicinal and poisonous species. *Fungal Diversity*, 98: 1-76.

Zeb M. & Lee C. 2021. Medicinal properties and bioactive compounds from wild mushrooms native to North America. *Molecules*, 26(2): 251. doi: 10.3390/molecules26020251.

HONGOS TÓXICOS DE NUEVO LEÓN

**M. Colchado Bermejo*, I.A. Calderón Sánchez,
J.L. Hernández Piñero y S.M. Salcedo Martínez**

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.
*mauricio.colchadobmj@uanl.edu.mx

Resumen

En el estado de Nuevo León existen 21 especies de hongos tóxicos que mayormente producen un micetismo gastrointestinal del cual el paciente se recupera uno o dos días después de la ingestión sin mayores consecuencias, sin embargo, hay también en el estado hongos que producen daño hepático y neurológico por lo que se recomienda sólo ingerir hongos silvestres sólo cuando un micólogo o experto pueda identificarlos como comestibles e inoos.

Palabras clave: Micetismos, envenamiento por hongos, síndrome hepatotóxico, síndrome gastrointestinal.

Introducción

La mayor riqueza de especies de hongos que por su tamaño y presencia son un recurso alimenticio por un periodo largo durante el año ocurre en el centro y sur de México, sobre todo en zonas boscosas. En Nuevo León, durante las épocas de lluvia aparecen en las montañas, serranías, valles y cañadas diferentes macrohongos, de los cuales algunos son hongos comestibles de alta calidad, pero hay una cantidad importante de hongos venenosos que, siendo confundidos por una especie comestible, podrían causar



Amanita pantherina. George Chernilevsky UKR

problemas de salud, desde malestar estomacal hasta la muerte.

Según los registros en la plataforma Naturalista, en Nuevo León existen 21 especies de hongos considerados tóxicos o 30 posiblemente tóxicos, pero el número real es probablemente mucho mayor.

Tipos de micetismo

Las intoxicaciones por ingerir hongos se conocen como micetismos. Los micetismos se clasifican por el

tipo de toxina u hongo que causa el problema (muscarínico, panterínico, orellánico, coprínico, paxílico, faloide, girométrico) y se denominan síndromes por los síntomas o tipo de intoxicación que causa el hongo, siendo los más comunes el micetismo psicotrópico (cada vez más relacionado con el hedonismo o la recreación) y el micetismo gastrointestinal, donde el hongo provoca síntomas relacionados al aparato digestivo como diarrea, vómito, malestar, dolor, etc. Usualmente, los hongos más letales tienen un micetismo hepatotóxico o nefrotóxico, es decir, que afectan órganos como el hígado o los riñones, muchas veces causando complicaciones serias o incluso la muerte (Graeme, 2014).

Otra forma de clasificar los micetismos es de acuerdo con el tiempo que transcurre antes que aparezcan los síntomas de la intoxicación y se puede distinguir entre síntomas de latencia corta, que ocurren entre 30 minutos y 6 horas después de la ingestión, y síntomas de latencia larga, entre 6 y 20 horas. Estos últimos, resultan los más peligrosos por el lapso que ha permanecido la persona sin un tratamiento.

Síntomas de los micetismos

En el síndrome hepatotóxico tardío hay tres estadios, en el primero o gastrointestinal puede ocurrir malestar, calambres abdominales, gastroenteritis, diarrea, a veces sanguinolenta y vómitos severos. Luego viene una mejoría aparente por algunas horas y por último sobreviene una recaída hacia el tercer día después de la ingestión, donde hay insuficiencia hepática marcada y donde el desenlace puede ser fatal debido a hemorragias internas o coma hepático.

El síndrome nefrotóxico inicia con molestias gastrointestinales leves, luego aparecen náuseas, vómitos, letargo, anorexia, micción frecuente, sed intensa,



***Amanita verna.* Alchetron**



***Galerina marginata.* Steven Murray**

boca y labios secos, sensación de ardor en la lengua, pérdida de apetito, poliuria, diarrea, estreñimiento y vómitos, seguidos por dolor de cabeza, escalofríos y gran cansancio general.

A una corta mejoría le sigue una afección renal grave con dolor lumbar, oliguria, vómitos, edemas e incluso trastornos neurológicos (somnia, insomnio, pa-

restesia, trastornos cognitivos) y reacciones parasimpaticomiméticas (por ejemplo, miosis ocular).

El síndrome giromitrínico o neurotóxico inicia con dolor de cabeza, malestar gastrointestinal, náuseas, diarreas y vómitos, seguidos de deshidratación, hipotensión y alteraciones del ritmo cardíaco, así como temblores, debilidad y ataxia pasando en casos graves a hemólisis, convulsiones y coma, trastornos nerviosos, insuficiencia circulatoria o paro respiratorio y muerte.

El síndrome gastrointestinal se manifiesta con náuseas, malestar, cólicos y vómitos, acompañados, en ocasiones, de dolores abdominales y diarrea, aunque en extremo desagradables estos micetismos se resuelven mayormente en uno a dos días y el pronóstico es bueno.

Materiales y Métodos

Se enlistaron por municipio los hongos registrados para el estado de Nuevo León en la plataforma Naturalista y para cada uno se investigó si local o internacionalmente está reportado como tóxico. Las especies con algún grado de toxicidad se ordenaron en la tabla 1 donde se agregó el tipo de micetismo, el tipo de toxina presente en el hongo (si está identificada) y el municipio donde ha sido encontrada.

Resultados

De acuerdo con el análisis de los resultados, se encontró que nueve especies presentan un micetismo gastrointestinal, nueve presentan un micetismo hepatotóxico y para ocho de ellas se desconoce su tipo de micetismo.

Muchas de las especies encontradas simplemente no se han estudiado o no son muy populares, por lo que



***Gyromitra ífula*. E. Bossenmaier**



***Lepiota cristata*. Alchetron**

solo se puede inferir su tipo de micetismo en base a otras especies del mismo género que sean más conocidas. Ya que casi la mitad de las especies (14 hongos) contienen toxinas aún desconocidas y lo mismo sucede con el conjunto de síntomas para otras ocho podemos concluir que faltan estudios adecuados sobre los micetismos y sus causas para las especies menos populares o infrecuentes que se recolectan (Tabla 1).

Tabla 1. Lista de especies tóxicas de hongos registradas para Nuevo León, categoría, tipo de micetismo causado, toxina implicada y municipios reportados.

Especie	Categoría	Micotismo	Tipo de toxina	Municipios
<i>Amanita bisporigena</i>	Venoso	Hepatotóxico	Amatoxina	MR, ST
<i>Amanita brunnescens</i>	Posiblemente venoso	Gastrointestinal y neurológico	Amatoxinas y faloidinas	ST
<i>Amanita cokeri</i>	Venoso	Hepatotóxico	Amatoxinas	AR
<i>Amanita muscaria</i>	Alucinógeno	Hepatotóxico y neurológico	Muscarina	AR, GL, ST
<i>Amanita pantherina</i>	Venoso	Hepatotóxico	Amatoxinas y faloidinas	GU, LI, MR
<i>Amanita polypiramis</i>	Venoso	Hepatotóxico	Desconocida	AR
<i>Amanita verna</i>	Venoso	Hepatotóxico	Amanitina	SP
<i>Chlorophyllum molybdites</i>	Venoso	Gastrointestinal	Proteína tóxica	AB, AP, GU, SN, ST
<i>Coprinopsis picacea</i>	Venoso	Gastrointestinal	Desconocida	GU
<i>Crepidotus mollis</i>	Posiblemente venoso	Desconocido	Desconocida	GL, SP
<i>Galerina marginata</i>	Venoso	Hepatotóxico	Amatoxinas	ZG
<i>Gyromitra infula</i>	Venoso	Hemólisis y neurológico	Gyromitrina	ST
<i>Hypomyces microspermus</i>	Posiblemente venoso	Desconocido	Desconocida	SP
<i>Inocybe geophylla</i>	Venoso	Gastrointestinal	Muscarina	ST
<i>Lepiota cristata</i>	Posiblemente venoso	Hepatotóxico	Desconocida	SP
<i>Lepiota subincarnata</i>	Venoso	Hepatotóxico	Amatoxinas	MR
<i>Leucocoprinus bimbaumii</i>	Venoso	Gastrointestinal	Birnbauminas	GC, GU, JZ, MR, SN, SP, ST
<i>Leucocoprinus brevissonii</i>	Posiblemente venoso	Desconocido	Desconocida	GT
<i>Leucocoprinus fragilissimus</i>	Venoso	Desconocido	Desconocida	MR
<i>Omphalotus illudens</i>	Venoso	Gastrointestinal	Iludinas	SP
<i>Panaeolus antillarum</i>	Venoso	Neurotrópica	Desconocida	AB, AR, BU, CY, IT
<i>Panellus pusillus</i>	Venoso	Desconocido	Desconocida	GU
<i>Phaeolus schweinitzii</i>	Venoso	Desconocido	Desconocida	SP
<i>Psilocybe cubensis</i>	Alucinógeno	Enteogénico	Psilocibina	ST
<i>Russula cremonicolor</i>	Posiblemente venoso	Gastrointestinal	Sesquiterpenos cíclicos	MR, ST
<i>Russula sanguinea</i>	Posiblemente venoso	Gastrointestinal	Sesquiterpenos cíclicos	SP
<i>Scleroderma areolatum</i>	Posiblemente venoso	Gastrointestinal	Desconocida	GC, MR, ST
<i>Scleroderma cepa</i>	Venoso	Desconocido	Desconocida	ES
<i>Scleroderma citrinum</i>	Venoso	Desconocido	Desconocida	GU, MR, SN, SP, ST
<i>Stilbocrea macrostoma</i>	Posiblemente venoso	Gastrointestinal	Desconocida	MR, ST

Municipios: AB Abasolo, AR Aramberri, BU Bustamante, CY Cadereyta, ES Escobedo, GC García, GL Galeana, GT General Terán, GU Guadalupe, IT Iturbide, JZ Juárez, LI Linares, MR Monterrey, SN San Nicolás, ST Santiago, SP San Pedro, ZG Zaragoza

Cabe mencionar que el apartado de municipios no representa de manera fiel la distribución de estos hongos, es decir, no implica que no estén presentes en otros municipios. Como se mencionó anteriormente, los reportes fueron obtenidos de naturalista, así que conforme te alejas de ciudades o espacios naturales concurridos, existen menos reportes, pudiendo caer en el error de pensar que los municipios del área metropolitana como Monterrey o San Nicolás de los Garza o Guadalupe, tienen la mayor cantidad de especies de Nuevo León (Tabla 1).

Las especies tóxicas con la mayor distribución de acuerdo con el mayor número de municipios donde han sido reportadas son *Leucocoprinus birnbaumii* (García, Guadalupe, Juárez, Monterrey, San Nicolás, San Pedro y Santiago) que al crecer en macetas puede representar un riesgo para mascotas e infantes; *Panaeolus antillarum* (Abasolo, Aramberri, Bustamante, Cadereyta e Iturbide) que crece sobre estiércol y causa alucinaciones; *Scleroderma citrinum* (Guadalupe, Monterrey, San Nicolás, San Pedro y Santiago) y *Chlorophyllum molybdites* (en Abasolo, Apodaca, Guadalupe, San Nicolás y Santiago). Esta última causa un micetismo gastrointestinal, pero sus síntomas son tan severos que está en su propia categoría separada del resto de hongos gastrointestinales (Ultimate mushroom guide).

Recomendaciones

La identificación de los hongos siempre debe ser realizada por un micólogo o una persona con experiencia para distinguir las especies comestibles de aquellas que se le parecen o que no lo son. También hay que evitar ingerir las especies comestibles que se distribuyan cerca de carreteras o campos de cultivos ya que podrían contener contaminantes o pesticidas.



***Scleroderma citrinum*. Meteofunghi.it**



***Chlorophyllum molybdites*. Nathan Wilson**

Siempre que se sospeche de envenenamiento hay que acudir al médico llevando los restos de las setas que se han ingerido y de existir más personas que hayan comido el mismo platillo, notificarles y urgirles a acudir también a alguna clínica u hospital para su valoración y tratamiento.

No existen antídotos contra los envenenamientos por hongos y el tratamiento de los micetismos comúnmente está dirigido a contrarrestar los síntomas y consiste en medidas de apoyo.

Es común inducir el vómito o el lavado gástrico para eliminar las setas aún no digeridas, así como la administración de suero para evitar la deshidratación y carbón activado para absorber las toxinas en tránsito y disminuir su absorción. Es recomendable conocer las especies tóxicas de las áreas donde vivimos, sobre todo aquellas especies reportadas con síndrome hepatotóxico.

Epílogo

La micodiversidad del estado es grande, hay especies comestibles consideradas alimentos selectos, delicatessen o productos gourmet, por lo que existe un gran potencial micoturístico gastronómico para incentivar temporadas de recolección de hongos comestibles en Nuevo León, pero a la par de este desarrollo e igualmente importante será el concientizar sobre las especies que NO se deben comer y el aprender a identificarlas, además de conocer los riesgos que conlleva comer hongos si no estás completamente seguro de su especie y establecer normas para el aprovechamiento sustentable de este recurso forestal no maderable.

Referencias

Graeme K.A. 2014. Mycetism: A review of the recent literature. *Journal of Medical Toxicology*, 10(2): 173-189. doi:10.1007/s13181-013-0355-2

Pomilio A.B., Battista S.M. & Alonso A. 2018. Micetismos: Parte 1: Síndromes con período de latencia tardía. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 52(4): 459-487.

Pomilio A.B., Battista S.M. & Alonso A. 2019. Micetismos. Parte 2: Síndromes con sintomatología demorada y latencia muy larga. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 53(1): 79-107.



Russula sanguinea. Blog de Setas Adrián A.



Psilocybe cubensis. Alan Rockefeller

Pomilio A.B., Battista S.M. & Alonso A. 2019. Micetismos. Parte 3: Síndromes tempranos gastrointestinales. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 53(2): 217-244.

Ultimate mushroom guide (s.f.). *Chlorophyllum molybdites*. Consultado el 29 de marzo de 2023. URL: <https://ultimate-mushroom.com/poisonous/14-chlorophyllum-molybdites.html>



Leucocoprinus birnbaumii. Anne Powell 500



Panaeolus antillarum

PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN ESPORANGIAL EN *Selaginella delicatissima*, *S. pallescens*, y *S. pilifera* EN NUEVO LEÓN, MÉXICO

A. Rocha Estrada*, M.A. Alvarado Vázquez y S.M. Salcedo Martínez

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.
*alejandra.rochaes@uanl.edu.mx

Resumen

Se estudia la distribución esporangial de tres especies de *Selaginella*, encontrándose que *S. delicatissima* presenta estróbilos con megasporangios únicamente (patrón III), *S. pallescens* en sus estróbilos presentan solo microsporangios (patrón IV), mientras que *S. pilifera* presenta sus estróbilos con microsporangios y megasporangios entremezclados (patrón V).

Palabras clave: esporangios, esporas, Nuevo León

Introducción

La familia Selaginellaceae está representada por el género *Selaginella*, comprendiendo más de 600 especies ampliamente distribuidas en el mundo, principalmente en zonas tropicales. Viven en lugares húmedos y sombreados e incluso algunas especies toleran hábitats expuestos como los acantilados rocosos. Se reportan aproximadamente 25 especies ornamentales y algunas como *S. lepidophylla* tienen uso medicinal (Bailey, 1949; Correll y Johnston, 1970; Madrigal González y Bedolla García, 2021). Para Nuevo León se reportan catorce especies de *Selaginella* de acuerdo a Villarreal Quintanilla y Estrada Castellón (2008). La taxonomía clásica para este género considera aspectos como forma, color, tamaño, disposición de hojas, consistencia de tallos, lo que ha permitido separar de forma simple

las especies del mismo. Con la innovación de nuevas técnicas histológicas ha sido posible considerar otros aspectos morfológicos (de la lígula, diferenciación, tamaño y número de estróbilos) y anatómicos como la distribución esporangial (Conzatti, 1981; Singh et al., 2014). Se han realizado algunos estudios considerando lo anterior, French (1972), estudió las relaciones de crecimiento de los esporangios durante la diferenciación en estróbilos de *S. bogelovi*, mencionando que en su inicio el número de células esporogénicas es similar en ambas líneas esporangiadas hasta que la multiplicación celular cesa en la línea megasporangiada, mientras continúa en la línea microsporangida. Fraile y Riba (1981), estudiaron la distribución de megasporangios y microsporangios en estróbilos de los subgéneros *Selaginella* y *Stachyginandrum*, encontrando los cuatro patrones básicos (A: estróbilos con megasporangios basales y microsporangios apicales; B: estróbilos con dos hileras verticales de megasporangios y dos hileras verticales de microsporangios; C: estróbilos con microsporangios y megasporangios entremezclados; D: estróbilos con megasporangios únicamente. Por su parte, Koller y Schekler (1986), estudiaron 53 especies, encontrando cinco posibles clases de microsporas anatómicamente diferentes, además de presentar tres formas de dispersión, entre las que se mencionan la dispersión pasiva para especies xéricas, incluyendo las especies isófilas y la distribución activa en especies anisófilas. Bonilla y Diez

(1990), describieron y estudiaron la distribución geográfica de 14 especies de *Selaginella* en el estado de México, entre las cuales mencionan a *S. lepidophylla*, indicando que sus estróbilos son de tamaño variable, sus megasporas de color amarillo, generalmente en paquete de 3 y su perina con espinas. Por su parte Singh et al. (2014), estudiaron la distribución esporangial de 12 especies de *Selaginella* en la India, encontrando seis patrones de variación en el arreglo de esporangios en los estróbilos.

Material y métodos

Las especies estudiadas se colectaron en el estado de Nuevo León. Para la transparentación de los estróbilos se realizó la técnica descrita por Arnott (1959 en Fraile y Riba, 1981), la cual se menciona a continuación:

- a) tratamiento de los estróbilos con NaOH al 5% durante 72 horas
- b) lavar con agua destilada hasta eliminar por completo el NaOH
- c) pasar a hidrato de cloral al 5%, hasta lograr el grado adecuado de transparencia
- d) lavar con agua destilada durante 4 horas
- e) deshidratar con alcoholes graduales (50, 70, 80, 90 y 1000)
- f) deshidratar con alcohol:xilo en una proporción 1:1
- g) montar en resina sintética

Para reconocer el arreglo de los esporangios en las especies de *Selaginella* se basó en la publicación de Singh et al., (2014).

Resultados y discusión

Se estudiaron un total de treinta estróbilos para las tres especies, encontrándose que *S. delicatissima* presenta estróbilos con megasporangios únicamente (patrón III), *S. pallescens* en sus estróbilos presentan dos hileras verticales de megasporangios y dos hileras verticales de microsporangios (patrón IV), mientras que *S. pilifera* presenta sus estróbilos con microsporangios y megasporangios entremezclados (patrón V) (Figura 1). Por otro lado, además de reconocer el tipo de distribución esporangial, se consideró importante estudiar la super-

ficie de las megasporas, ya que varios estudios mencionan que la superficie de estas es importante para la identificación de especies (Schulz et al., 2013 y Zhou et al., 2015 en Bauer, 2016). Con respecto a esto se encontró que las megasporas de *S. delicatissima* presentan un diámetro aproximado de 85 micras y su perina es baculada; mientras que en *S. pilifera* las esporas tienen una perina reticulada y un diámetro aproximado de 200 micras (Figura 1).

Referencias

- Bailey L.H. 1949. Manual of cultivated plants. MacMillan Publishing, Ca, INC, New York. 1116.
- Bauer D.S. 2016. Megaspore investigations of *Selaginella* species from Sao Paulo, Brazil. American Fern Journal, 106 (2): 55-86.
- Bonilla A.L.A. & Diez J.D.T. 1990. El género *Selaginella* Pal Beauv (Selaginellaceae, Lycopodiophyta) en el estado de México. Acta Botánica Mexicana, 11: 23-47.
- Conzatti C. 1981. Flora taxonómica mexicana (plantas vasculares). Tercera edición. Instituto Politécnico y Centro Nacional de Enseñanza Técnica Industrial. 158.
- Correll S.D. & Johnston M.C. 1970. Manual of the vascular plants of Texas. Published by Texas Research Foundation. Renner, Texas. 18-40.
- Fraile M.E. & Riba R. 1981. Distribución esporangial de especies de *Selaginella*. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 41: 33-40.
- French J.C. 1972. Dimensional correlations in developing *Selaginella* sporangia. Amer J Bot, 59(3): 224-227.
- Koller A.L. & Scheckler S.E. 1986. Variations in microsporangia and microspore dispersal in *Selaginella*. Amer J Bot, 73(9): 1274-1288.
- Madrigal González D. & Bedolla García B.J. 2021. Familia Selaginellaceae. Fascículo 220. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Michoacán, México. 1-38.
- Singh S.K., Yadav B.B., Srivastava M., Shukla P.K. & Srivastava G.K. 2014. Comparative morphological studies on spikes of Indian *Selaginella* Beauv. Plant Syst Evol, 300: 1235-1245.
- Villarreal Quintanilla J.A. & Estrada Castellón E. 2008. Listados florísticos de México XXIV. Flora de Nuevo León. Instituto de Biología, UNAM. México D.F. 153.



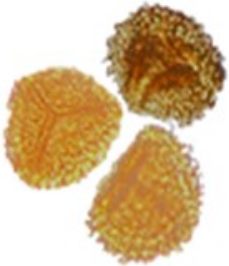





<i>S. delicatissima</i>			
<i>S. pallescens</i>			
<i>S. pilifera</i>			

Figura 1. Ejemplares de las tres especies de *Selaginella*, su patrón esporangial y las megasporas.

DISEÑO DE UN PÉPTIDO QUÍMERICO CONSERVADO PARA EXPRESARSE EN TOMATE COMO VACUNA COMESTIBLE CONTRA EL VIRUS DEL PAPILOMA HUMANO: UN ENFOQUE BIONFORMÁTICO

L.S. de la Rosa Meléndez, J.E. Escobedo Silva, B. Pereyra Alférez, L.J. Galán Wong y J.A. Gallegos López*

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Instituto de Biotecnología
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.
*juan.gallegoslp@uanl.edu.mx

Summary

The Human Papillomavirus (HPV) causes cancer in humans. Currently, there are vaccines against HPV but they do not protect against all serotypes. Using bioinformatics, it is possible to predict vaccine candidate peptides (VCPs) quickly and rationally. Additionally, plants offer advantages for producing recombinant vaccines. The objective of this study was to design in silico a conserved chimeric peptide (CP) to be expressed in tomato against all cancer-causing HPV serotypes in the world. For this, sequences of the L1 protein of the most prevalent oncogenic HPVs in the world were aligned, conserved peptides were identified, VCPs were predicted and joined with a linker. The theoretical model of the CP was predicted. The nucleotide sequence encoding CP was optimized with the preferential codons of tomato (*Solanum lycopersicum*) and cloned in silico into the plasmid pBI121 of *Agrobacterium tumefaciens*. The plasmid pBI121-PQ carrying the optimized sequence with the preferential codons of the tomato encoding the CP carrying two conserved VCPs of L1 proteins of the most prevalent oncogenic HPVs in the world was obtained. In this study, a CP with the potential to stimulate an immune response against the world's HPV

serotypes was designed for the first time. However, more in vitro and in vivo studies will be required to corroborate the effectiveness of the vaccine.

Keywords: In silico, Vaccine, Virus, Chimeric Peptide.

Resumen

El Virus del Papiloma Humano (VPH) causa cáncer en el ser humano. Actualmente, existen vacunas contra el VPH pero no protegen contra todos los serotipos. Mediante bioinformática, es posible predecir péptidos candidatos a vacuna (PCV) de manera rápida y racional. Además, las plantas ofrecen ventajas para producir vacunas recombinantes. El objetivo de este estudio fue diseñar in silico un péptido quimérico (PQ) conservado para expresarse en tomate contra todos los serotipos del VPH que causan cáncer en el mundo. Para esto se alinearon secuencias de la proteína L1 de VPH oncogénicos más prevalentes en el mundo, se identificaron péptidos conservados, se predijeron PCV y se unieron con un enlazador. Se predijo el modelo teórico del PQ. La secuencia nucleotídica codificante del PQ se optimizó con los codones preferenciales del tomate (*Solanum lycopersicum*) y se clonó in silico en el plásmido pBI121

de *Agrobacterium tumefaciens*. Se obtuvo el plásmido pBI121-PQ portador de la secuencia optimizada con los codones preferenciales del tomate codificante del PQ portador de dos PCV conservados de proteínas L1 de los VPH oncogénicos más prevalentes en el mundo. En este estudio se diseñó por primera vez un PQ con potencial para estimular una respuesta inmunológica contra los serotipos de VPH del mundo. No obstante, se requerirán más estudios in vitro e in vivo para corroborar la eficacia de la vacuna.

Palabras clave: In silico, Vacuna, Virus, Péptido Quimérico

Introducción

El Virus del Papiloma Humano se transmite por contacto sexual y puede causar cáncer en el ser humano. Actualmente, existen vacunas contra algunos tipos de VPH oncogénicos. Entre las cuales se encuentran Cevaxix (tipos 16 y 18), Gardasil (tipos 6, 11, 16 y 18), y Gardasil9 (tipos 6, 11, 16, 18, 31, 33, 45, 52, 58). No obstante, estas vacunas no protegen contra todos los serotipos de VPH causantes de cáncer. Por tal motivo es urgente el desarrollo de una vacuna que proteja contra todos los tipos del VPH1.

Los epítomos son de particular interés, ya que tienen un gran potencial para el diseño de vacunas, prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades²

Mediante bioinformática, es posible predecir epítomos contra microorganismos patógenos de una manera más rápida, barata y racional³. Así mismo, para los países en vías de desarrollo, las plantas representan una opción más accesible para la producción vacunas recombinantes. Algunas ventajas son la seguridad, el tiempo, el costo de producción, la similitud de la síntesis de proteínas y patrones de glicosilación que comparten con las células animales, sin mencionar, que las plantas recombinantes solo requieren de agua, minerales y sol para crecer, a diferencia del costoso proceso para producir proteínas recombinantes en células de mamíferos⁴⁻⁵

En este estudio se diseñó, mediante herramientas bio-

informática, un PQ conservado para ser expresado en el tomate contra los tipos de VPH oncogénicos más prevalente en el mundo.

Metodología

Obtención de las secuencias aminoacídicas de la proteína L1 del VPH

Se seleccionó la proteína L1 del VPH en base a la información de la página ViralZone. Posteriormente, las secuencias aminoacídicas de la proteína L1 se obtuvieron de la base de datos del GenBank y PAVE.

Análisis inmunoinformático

Los péptidos conservados se analizaron con herramientas del Immune Epitope Database and Analysis Resources (IEDB) <http://tools.iedb.org/bcell/>, para identificar péptidos que fueran inmunogénicos, antigénicos, hidrofílicos, accesibles, flexibles y que se encontraran en giros β . Los péptidos que reunieron estas características fueron considerados PCV.

Verificación de la accesibilidad de los PCV en el PQ

Los PCV se unieron con el enlazador GGGGS para obtener la secuencia del PC. Se obtuvo la estructura tridimensional del PQ con Phyre2 y se verificó la accesibilidad de los PCV con el programa Swiss-PDB Viewer.

Optimización de la secuencia nucleotídica

El PQ diseñado se tradujo inversamente en secuencia nucleotídica, la cual se optimizó con los codones preferenciales de la planta de tomate. Al extremo 5' de la secuencia optimizada se le agregó el sitio de restricción BamHI, el sitio de unión a ribosoma (Kozak) y el codón de inicio de la traducción. Así mismo, al extremo 3' se le agregó la secuencia que codifica para el péptido señal del retículo endoplásmico (SEKDEL), el codón de paro y el sitio de restricción SacI. Además, la secuencia nucleotídica optimizada se clonó in silico en el plásmido binario pBI121 de 14, 758 pares de bases (pb) de *A. tumefaciens*.

Resultados y discusión

Péptidos conservados

Se calculó un alineamiento múltiple de secuencias de la proteína L1 de los serotipos de VPH oncogénicos más prevalentes en el mundo, a partir del cual se identificaron dos péptidos conservados.

Análisis inmunoinformático

Los dos péptidos conservados resultaron ser inmunogénicos, antigénicos, hidrofílicos, accesibles, flexibles y estar en un giro β (Figura 1), lo que sugiere que son péptidos candidatos a vacuna. Su inmunogenicidad permitirá estimular la producción de anticuerpos⁶ y su accesibilidad permitirá unirse a los anticuerpos, importante en el diseño de vacunas, ya que la unión antígeno-anticuerpo permite desencadenar una respuesta inmunológica⁶. La metodología usada en presente este estudio fue similar a la empleada por Gallegos-López y colaboradores, que en el 2022 diseñaron mediante bioinformática, una proteína de fusión portadora de epítopos conservados para expresarse en tomate contra las variantes de preocupación del SARS CoV-29.

Estructura tridimensional del del PQ y accesibilidad

En la figura 2 se muestra la estructura 3D del PQ obtenido con el programa phyre.2 Los análisis del PC con Pdb Viewer mostraron que los PCV se encuentran accesibles.



Accesibilidad 1.000
Antigenicidad 1.035
Inmunogenicidad 0.350
Hidrofilia 1.111
Flexibilidad 1.005
Giro beta 1.006

Figura 1. PQ portador de los PCVs sugeridos por las herramientas del IEDB y los umbrales utilizados en cada análisis.

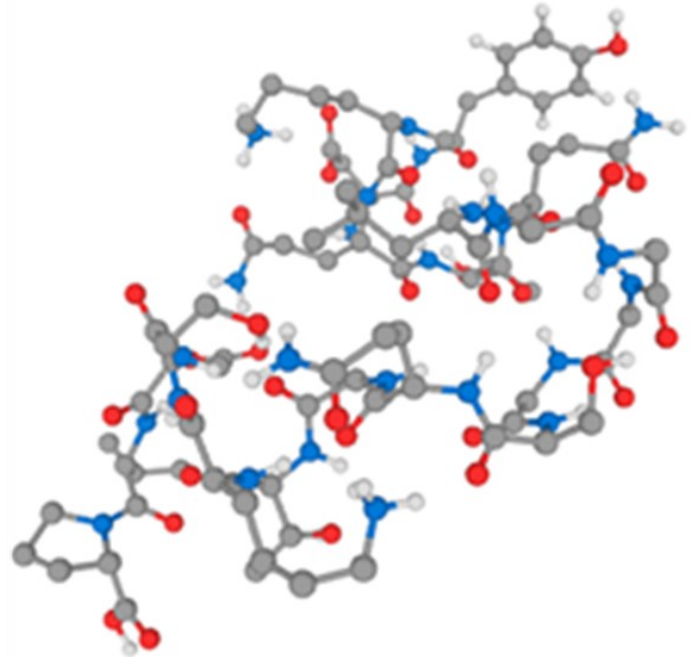


Figura 2. Estructura tridimensional del PQ en formato de balls and sticks.

Optimización de la secuencia nucleotídica

Además, se obtuvo una secuencia nucleotídica optimizada con codones preferenciales del tomate, con una longitud de 60 pares de bases, y un porcentaje de G+C y A+T del 37% y 63%, respectivamente (Figura 3). Esto permitirá obtener altos niveles de expresión del PC, tal como se ha sugerido en otro estudio⁷. La nueva construcción llamada pPBI121-PQ, mostró un tamaño de 14, 818 pb.

Múltiples estudios han confirmado la viabilidad de *S. lycopersicum* como vehículo para la producción de proteínas recombinantes como vacunas orales. Se ha expresado la inmunoglobulina humana tipo A recombinante, dirigida contra el péptido VP8 de la cepa del rotavirus SA11, mostrando una inhibición fuerte a la infección por el virus en ensayos in vitro⁸.

Conclusiones

Los resultados obtenidos sugieren que el PQ conservado diseñado in silico, para expresarse en tomate como

*Bam*HI kozak start D Y K Q T Q
 5' gga tcc gca aca atg gau uau aaa caa acu caa

L G G G G S Q A T K S
 cuu gga gga gga gga agu caa gcu acu aaa agu

D V P sekdel stop
 gau guu caa aga gaa aag gat gaa ctc taa

Sac I
 gag ctc 3'

Figura 3. Secuencia nucleotídica optimizada que codifica para el PQ.

una vacuna comestible, tiene el potencial para estimular una respuesta inmunológica contra los serotipos de VPH oncogénicos más prevalentes en el mundo. No obstante, se requieran de más estudios in vitro e in vivo para verificar la eficacia de la vacuna.

Agradecimientos

A Rafael Alejandro Garza Paz por su colaboración en la realización de este estudio.

Referencias

Sofiani V.H., Veisi P., Rukerd M.R.Z., Ghazi R. & Nakhaie M. 2023. The complexity of human papilloma virus in cancers: a narrative review. *Infectious Agents and Cancer*, 18 (1): 1-14.

Soria-Guerra, R.E., Nieto-Gómez R., Govea-Alonso D. O., & Rosales-Mendoza S. 2015. An overview of bioinformatics tools for epitope prediction: implications on vaccine development. *Journal of biomedical informatics*, 53: 405-414.

Sette A. & Rappuoli, R. 2010. Reverse vaccinology: developing vaccines in the era of genomics. *Immunity*, 33(4): 530-541.

El-Turkey, A., El-Attar A.K., Aboulata A.E., Othman B. & El-dougDoug K.A. 2014. Expression of Recombinant gD2 Protein in Transgenic Tomato plants for development of a

plant-derived vaccine against Human herpes virus 2. *Egyptian J. Virol*, 11(2): 1-13.

Gerszberg A., Hnatuszko-Konka K., Kowalczyk T. & Kononowicz A. K. 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 120(3): 881-902.

Hughes E.E. & Gilleland Jr H.E. 1995. Ability of synthetic peptides representing epitopes of outer membrane protein F of *Pseudomonas aeruginosa* to afford protection against *P. aeruginosa* infection in a murine acute pneumonia model. *Vaccine*, 13(18): 1750-1753.

Félix Gil F., Brun A., Wigdorovitz, A., Catalá R., Martínez-TorreCuadrada, J.L., Casal I. & Escribano J.M. 2001. High-yield expression of a viral peptide vaccine in transgenic plants. *FEBS letters*, 488(1-2): 13-17.

Juárez P., Presa S., Espí J., Pineda B., Antón M., Moreno V., Bruesa J., Granell A., Orzaez D. 2012. Neutralizing antibodies against rotavirus produced in transgenically labelled purple tomatoes. *Plant Biotechnology Journal*, (10): 341-350.

Gallegos-López J.A., Garza-García D.M., Martínez-Villalobos J.M., Viader-Salvadó J.M., Guerrero Olazarán M., Galán-Wong L.J. 2022. Diseño de una proteína de fusión para expresarse en tomate contra el SARS-CoV-2: un enfoque bioinformático. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 10(55): 100-113.

MORFOLOGÍA Y ANATOMÍA FOLIAR DEL CENIZO *Leucophyllum frutescens* (Berl.) I. M. Johnst. (SCROPHULARIACEAE)

M.A. Alvarado Vázquez*, A. Rocha Estrada y S.M. Salcedo Martínez

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.

*marco.alvaradovz@uanl.edu.mx

Resumen

Se describe e ilustra la morfología y anatomía de *L. frutescens*, destacando características de adaptación a hábitats áridos y semiáridos. Mediante técnicas de maceración, transparentación e histología en parafina. Encontrando que la hoja del cenizo presenta características que la hacen particularmente adaptable a los ambiente áridos y semiáridos, tales como hojas relativamente pequeñas, gruesas, algo revolutas, cutícula gruesa y con estriaciones cuticulares, principalmente en el haz; abundancia de tricomas en ambas superficies, más desarrollados en el envés; mesófilo con distribución isolateral, con dos capas de empalizada hacia el haz y una hacia el envés; sistema de espacios bien desarrollados en el mesófilo; estomas sólo en el envés, no muy abundantes y de forma casi circular.

Palabras clave: hoja, cenizo, tricomas, parénquima empalizada, parénquima esponjoso, México

Introducción

Hay zonas áridas y semiáridas en más de 100 países, en México ocupan más de 90 millones de hectáreas o sea zonas áridas, más del 40% del territorio nacional (Zerecero Leal, 1981). Las plantas presentan características morfológicas y anatómicas que las hacen sumamente singulares, se les conoce generalmente como xerófitas y han sido definidas como vegetales que se

desarrollan en ambiente áridos y cuya transpiración disminuye bajo condiciones de deficiencia hídrica. Rzedowski (1959), menciona que el clima árido, así como sus consecuencias en la fisiografía, hidrología y en los suelos crean condiciones peculiares, adversas para el desarrollo de la mayor parte de las especies vegetales y solo aquellas formas que poseen adaptaciones especiales que les permiten afrontar con éxito periodos largos de escasez de agua pueden colonizar este medio. Las características morfológicas que con mayor frecuencia pueden encontrarse en las xerófitas son un gran desarrollo del sistema radicular, tamaño relativamente pequeño y porción aérea compacta, reducción de la superficie foliar (microfilia, afilia, tendencia al enrollamiento), cutícula gruesa con frecuencia impregnada con resinas, ceras, aceites, sílice y/o provistas de tomento, estomas situados en depresiones, hendiduras, surcos, fosas, almacenamiento de reservas de agua, reducción del tamaño de células y presencia de espinas. Una de estas especies que vive en las zonas áridas y semiáridas es *L. frutescens* (Scrophulariaceae), conocido comúnmente como cenizo, es una planta de la medicina tradicional mexicana y además es muy utilizada como especie ornamental en áreas públicas y privadas (Alvarado Vázquez, 1997; Rocha Estrada *et al.*, 1998; Villarreal Quintanilla y Estrada Castellón, 2008; Vega

Menchaca *et al.*, 2013). Por otro lado, la familia Scrophulariaceae ha sido objeto de estudio por varios investigadores, entre los cuales destacan Metcalfe y Chalk (1950), quienes describen la morfología y anatomía de los órganos vegetativos de esta familia; Lersten y Curtis (1997), describen los idioblastos foliares subepidérmicos de *Scrophularia* y *Verbascum*, encontrando que estos se encuentran tanto en el haz como en el envés, la mayoría muy conspicuos y en algunas especies penetraban hasta el nivel de los tejidos vasculares, tienen una pared primaria delgada y están vacíos en la madurez. Lersten y Curtis (2001) estudiaron la anatomía foliar 172 géneros y 237 especies con la finalidad de investigar y observar las estructuras secretoras internas, encontrando cinco tipos en su mayoría desconocidas en las Scrophulariaceae tradicionales, estas se encontraron en sólo nueve géneros: a) idioblastos subepidérmicos unicelulares, vacíos en la madurez, en *Scrophularia* y *Verbascum*, b) 2–16 (o más) nódulos celulares con contenido fibroso en los estratos del mesófilo medio de *Graderia* y *Radamaea*, c) cavidades oleosas revestidas de epitelio en *Leucophyllum* y *Capraria*, d) vaina del haz agrandada tipo Kranz en *Anticharis*, y e) mesófilo paraveinal en *Picria* y *Bonnaya*. Kaplan y Inceoglu (2003) estudiaron la anatomía y morfología foliar de 14 especies pertenecientes a la tribu Rhinanthae; por su parte Ullah *et al.* (2020), estudian las implicaciones taxonómicas de la epidermis foliar de algunos taxa de Pakistán. Thabet *et al.* (2022), analizaron los componentes volátiles de los aceites esenciales de hojas y flores del cenizo, para evaluar por primera vez su actividad anti-vejecimiento, concluyendo que podría constituir un fármaco anti-vejecimiento natural prometedor.

Material y métodos

El material vegetal se colectó en el municipio de China, Nuevo León, entre los paralelos 25°28' y 25°26' de latitud norte y los meridianos 99°17' y 99°15' de longitud oeste, y se encuentra en la Provincia de la Planicie Costera del Golfo dentro de la Región Xerofítica Mexicana (Rzedowski, 1981). El clima es semiseco cálido CBS,



Figura 1. Planta del cenizo, *Leucophyllum frutescens*, mostrando sus hojas y flores.

(h') hx' (García, 2004); la precipitación media anual es del orden de los 500 mm (INEGI, 1986). De acuerdo a las cartas de vegetación de DETENAL (1978), la vegetación es del tipo matorral espinoso tamaulipeco.

Se colectaron muestras de 5 plantas de *L. frutescens* (Figura 1), los ejemplares están depositados en el herbario de la Facultad de Ciencias Biológicas (UNL). Se tomaron muestras de hoja de las 5 plantas (seleccionándose hojas adultas y con una madurez adecuada), se les aplicaron las técnicas de maceración con los métodos de Jeffrey y Schultz (Curtis, 1986), transparencia con los métodos de Foster y Dizeo Strittmatter (D'Ambrogio de Argüeso, 1986) y cortes en parafina de acuerdo a Johansen (1940). Cada una de estas técnicas permitió conocer diferentes aspectos de la morfología y anatomía foliar del cenizo, además se realizaron 50 mediciones para cada tipo de célula o tejido. Los

criterios para la descripción de los tejidos fueron básicamente los de Metcalfe y Chalk (1950) y Radford *et al.*, (1974). Para los patrones de nerviación se utilizó la clasificación de Hickey (1973), para los estomas se siguió a Baranova (1992).

Resultados y Discusión

En el cuadro 1 se presentan los valores de las medias y desviación estándar de las variables morfoanatómicas estudiadas en la hoja de *L. frutescens*.

Morfología

Hojas elíptico obovadas, obtusas en el ápice, cuneadas en la base, con un corto pecíolo, margen entero; con una longitud promedio de 12.16 mm y una anchura de 6.44 mm (Figura 2a), superficie densamente tomentosa, mayormente en el envés. Venación de tipo camptódroma reticulódroma, aunque a simple vista solo desataca la nervadura principal (Figura 2b); la hoja presenta un grosor de 239 μm sin contar los tricomas. La forma de la hoja en el cenizo, demuestra una tendencia a reducir el área superficial de la misma, lo cual es un carácter adaptativo en las xerófitas, ya que les permite evitar las temperaturas letales del ambiente de acuerdo con Sutcliffe (1977), y Orians y Solbrig (1977). Con respecto al tamaño, se sabe que las hojas pequeñas son una adaptación para reducir las necesidades hídricas (Dehgan, 1982; Ramos Alvarez y González Medrano, 1971; Rudall, 1979 y 1980); en cuanto al grosor Smith y Nobel (1978), mencionan que este puede tener relación con las altas temperaturas, ya que estas favorecen la formación de hojas más pequeñas y más gruesas.

Epidermis

Compuesta por una sola capa de células en ambas superficies, es ligeramente más gruesa en el haz que en el envés (Cuadro 1). La cutícula es gruesa en ambas superficies, pero mayormente en el haz (6.86 μm), en el envés es más gruesa sobre la nervadura central, y presenta estriaciones cuticulares en forma de picos delga-

dos en sección transversal, estas estriaciones han sido reportadas como una adaptación a los ambientes áridos (Rudall, 1979 y 1980); las células tabulares de forma poliédrica (6-8 lados), no lobuladas, similares en forma y dimensiones en el haz y en el envés (figura d). Los estomas son de tipo anisocítico, aunque hay algunos que presentan 4 células anexas con una disposición uniforme donde dos células son laterales y las otras dos se disponen en la parte basal y superior del estoma, estos estomas corresponden al tipo tetracítico (Figura 2d); la presencia de estomas solo en el envés concuerda con lo señalado por Metcalfe y Chalk (1972). Se presentan dos tipos de tricomas, dendríticos y glandulares; los tricomas dendríticos son muy abundantes en ambas superficies, aunque son de mayor tamaño (casi el doble) en el envés, donde son también más ramificados, estos tricomas dan la apariencia de estar hundidos en el centro de células epidérmicas (Figura 2f). Las glándulas son más pequeñas que los tricomas dendríticos y miden en promedio 25.91 μm (Cuadro 1), compuestas generalmente por cuatro células dos de ellas en la base, una sobre otra y las dos restantes de forma hemisférica, se complementan en una cabeza globosa, estas glándulas están rodeadas por 6-8 células epidérmicas a manera de corona o meridianos (Figura 2g), su abundancia es mayor en el envés (112.4/mm²) que en el haz (80/mm²).

Mesófilo

El arreglo del parénquima es de tipo isolateral, con dos capas de células de parénquima en empalizada hacia el haz y una sola capa hacia el envés, el parénquima esponjoso se encuentra en la parte central; es sabido que la hoja de tipo isolateral y el aumento en la cantidad o número de capas de tejido de empalizada son características típicas xeromórficas (Hull y Bleckman, 1977; Bokhari y Hedge, 1977; Fahn, 1978, Rudall, 1979 y 1980; Johnson, 1980). El parénquima en empalizada tiene un arreglo compacto y bien definido, aunque cabe mencionar que la segunda capa (la más interna) de empalizada en el haz es algo difusa, perdiéndose en

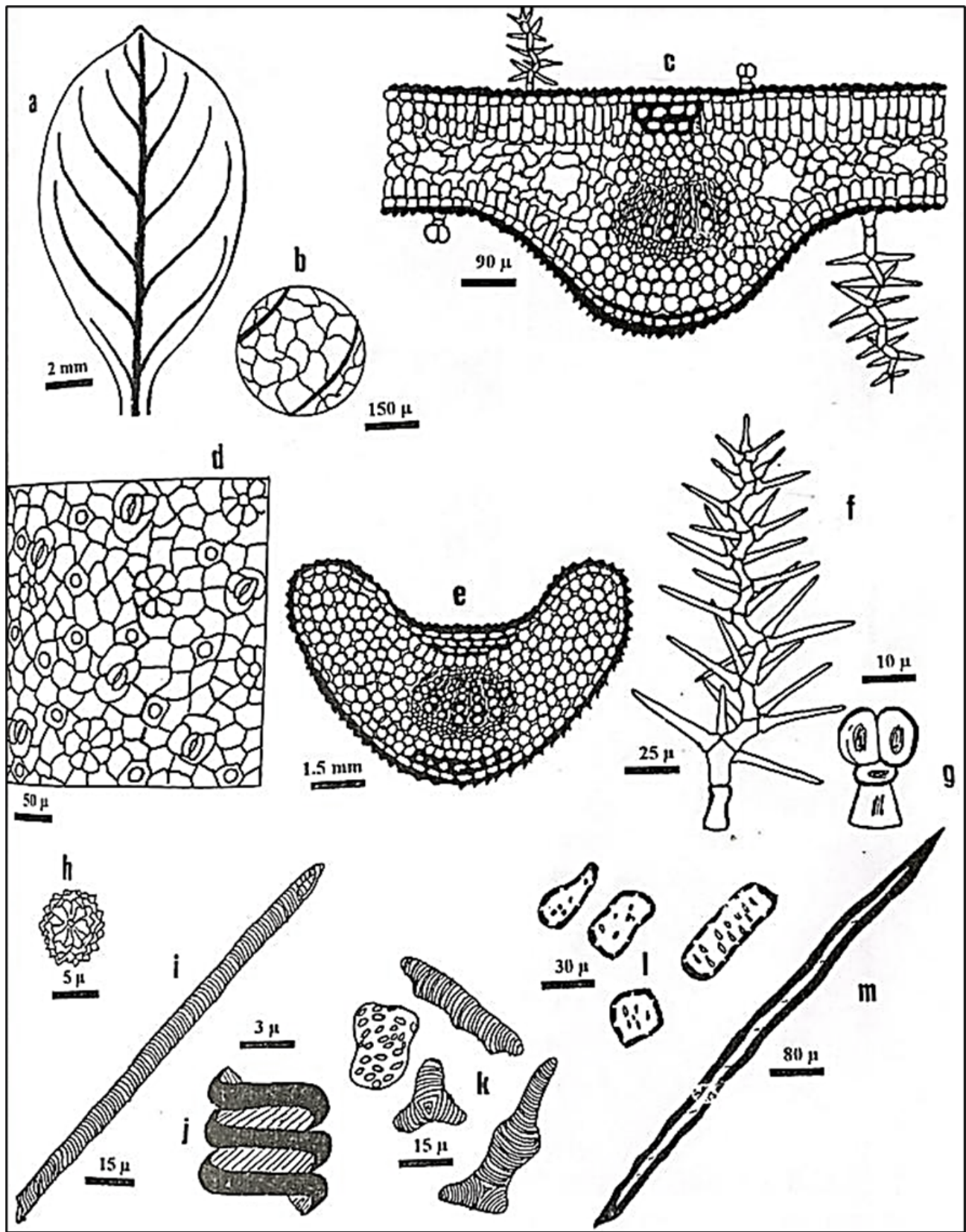


Figura 2. *Leucophyllum frutescens* (Berl.) I.M. Johnst. a, morfología y nerviación de la hoja; b, detalle de la nerviación; c, corte transversal de la hoja; d, epidermis de la hoja; e, corte transversal del peciolo; f, tricoma dendrítico; g, tricoma glandular; h, cristal de oxalato de calcio, drusa; i, vaso helicoidal; j, detalle de la pared del vaso helicoidal; k, traqueidas helicoidales y puntiformes; l, células de parénquima del xilema; m, fibras.

Cuadro 1. Valores promedio \pm desviación estándar, máximo y mínimo de las variables morfoanatómicas estudiadas en la hoja de *Leucophyllum frutescens*. * Valores en micrómetros (μ).

Variable	Media+D.E.*	Máx.*	Mín.*
Longitud de hoja (mm)	12.16 \pm 2.23	17.00	9.00
Ancho de hoja(mm)	6.44 \pm 1.23	9.00	4.00
Grosor de hoja (mm)	239.00 \pm 12.68	262.86	212.31
Grosor de cutícula en haz	6.86 \pm 1.04	8.96	5.12
Grosor de cutícula en envés	3.38 \pm 0.82	5.12	2.56
Longitud de células tabulares en haz	42.19 \pm 5.44	51.20	33.28
Longitud de células tabulares en envés	27.75 \pm 4.23	38.40	20.48
Ancho de células tabulares en haz	41.27 \pm 8.57	64.00	28.16
Ancho de células tabulares en envés	25.52 \pm 6.18	38.40	15.36
Altura de células epidérmicas en el haz	21.91 \pm 2.57	25.60	17.92
Altura de células epidérmicas en el envés	17.10 \pm 2.18	20.48	12.80
Longitud de células oclusivas en envés	27.75 \pm 2.93	33.28	20.48
Ancho de células oclusivas en envés	27.55 \pm 2.48	33.28	20.48
Número de estomas/mm ² en envés	86.40 \pm 29.14	140.00	40.00
Número de tricomas/mm ² en haz	240.40 \pm 14.57	260.00	220.00
Número de tricomas/mm ² en envés	236.80 \pm 17.49	270.00	210.00
Longitud de tricomas en el haz	113.97 \pm 26.56	171.52	74.24
Ancho de tricomas en el haz	63.90 \pm 15.48	99.84	40.96
Longitud de tricomas en el envés	208.79 \pm 33.16	268.80	148.48
Ancho de tricomas en el envés	126.05 \pm 25.81	192.00	97.28
Número de glándulas/mm ² en haz	80.00 \pm 7.64	100.00	70.00
Número de glándulas/mm ² en envés	112.40 \pm 14.22	140.00	80.00
Longitud de glándulas	25.91 \pm 1.35	28.16	23.04
Ancho de glándulas	15.82 \pm 2.12	20.48	12.80
Altura de glándulas	25.91 \pm 1.35	28.16	23.04
Longitud de células de parénquima empalizada	40.09 \pm 7.36	61.44	30.72
Ancho de células de parénquima empalizada	16.44 \pm 2.71	23.04	12.80
Longitud de células de parénquima esponjoso	34.30 \pm 4.62	43.52	28.16
Ancho de células de parénquima esponjoso	23.65 \pm 2.36	28.16	20.48
Longitud de células de parénquima en xilema	38.71 \pm 10.33	58.88	25.60
Ancho de células de parénquima en xilema	25.29 \pm 5.08	35.84	15.36
Diám. de cél. de parénq. no fotosi. asociado a las nervaduras	38.50 \pm 3.09	43.52	33.28
Longitud de fibras	728.73 \pm 92.20	808.80	626.82
Ancho de fibras	8.24 \pm 1.96	10.24	6.40
Longitud de vasos helicoidales	111.51 \pm 26.83	166.40	64.00
Ancho de vasos helicoidales	8.55 \pm 1.64	12.80	5.12
Longitud de traqueidas helicoidales	44.08 \pm 30.63	153.60	17.92
Ancho de traqueidas helicoidales	18.33 \pm 8.19	35.84	7.68
Número de cristales/mm ²	92.80 \pm 45.96	160.00	40.00
Diámetro de cristales	7.63 \pm 0.58	8.96	6.40

pequeñas con el parénquima esponjoso. Las células de empalizada no son de forma tan alargada como en otras especies, sino más bien son células 2/3 a 3/4 tan anchas como largas. El parénquima esponjoso está formado por células poco lobuladas, más bien de forma elíptico-redondeadas, con un arreglo algo compacto y pocos espacios entre sí, destacando la presencia de espacios aéreos de tamaño considerable, pero no entre las células, sino en forma independiente a manera de huecos o canales (Figura 2c), a este respecto Lersten y Beaman (1998) mencionan que estos canales encontrados en el cenizo corresponden a cavidades oleosas y esto es confirmado por Thabet *et al.*, (2022).

Se pueden apreciar algunas células de colénquima hacia la parte interna de ambas epidermis, encima y debajo de la nervadura central (Figura 2c). Cristales muy escasos en el mesófilo y en el resto de la hoja, tipo drusa con un tamaño promedio de 7.63 μm de diámetro (Figura 2h); Price (1970) menciona que los cristales son inclusiones comunes en las células vegetales, mientras que Metcalfe y Chalk (1972) indican que su presencia en células y tejidos específicos de muchas plantas es frecuentemente una constante, por lo que puede ser usada como una herramienta taxonómica. Por su parte Franceschi y Horner (1980) mencionan que la forma de los cristales es también una constante en cada planta y la forma de los mismos está bajo control genético, y que además la presencia de estos puede ser la manifestación de un esfuerzo del organismo para mantener un equilibrio iónico.

Haces vasculares

En sección transversal destaca solamente un haz vascular central, aunque también existen numerosos haces vasculares secundarios pero de diámetro menor, la disminución en el número de haces principales ha sido reconocido por Dehgan (1982), como una adaptación en las plantas de zonas áridas para economizar agua, por su parte Smith y Nobel (1986) agregan que existe una relación lineal entre el área superficial de la hoja y el número de haces vasculares, por lo que si las xerófi-

tas tienden a disminuir el tamaño de sus hojas es de esperarse que también disminuya el número de haces principales. Con respecto a los tejidos vasculares el xilema está dispuesto hacia el haz y el floema hacia el envés, ocupando el xilema aproximadamente $\frac{3}{4}$ o más de la superficie vascular; el floema presenta una disposición a manera de media luna enseguida del xilema. Los vasos son del tipo helicoidal (Figura 2i y j), de longitud y diámetro pequeño (111.51 y 8.24 μm en promedio, respectivamente). Existen además traqueidas helicoidales y puntiformes (Figura 2k), estas últimas son escasas y pequeñas (25 μm), las fibras (Figura 2m) son escasas, presentan una longitud de 728.73 μm ; el xilema presenta células parenquimáticas de pared delgada (Figura 2l). Es importante mencionar que alrededor del haz vascular central y sobre todo en la parte inferior se encuentran grandes células de parénquima no fotosintético, estas células son algo redondeadas y presentan un diámetro promedio de 38.50 μm , de acuerdo con Bokhari y Hedge (1977) estas células probablemente están involucradas con la función de almacenamiento de agua.

Peciolo

Es de forma hemisférica con una depresión en el centro de la parte superior, lo que le da una apariencia alada (Figura 2e). Su epidermis es similar a la de la lámina, con una gruesa cutícula y cubierta cerosa a manera de picos o crestas en vista transversal. Tienen abundantes tricomas de tipo dendrítico. Presenta un haz vascular se aprecia gran cantidad de células de parénquima no fotosintético y fotosintético, aunque estas últimas con menor cantidad de cloroplastos que el parénquima de la lámina. En las células parenquimáticas se pueden apreciar algunas drusas, aunque estas no son muy abundantes. Al igual que en la lámina se presentan células de colénquima lagunar enseguida de la epidermis, encima y debajo del haz vascular, el colénquima de la parte superior se dispone en 2 capas y en la inferior solo una. Las capas de la superficie superior son de paredes más gruesas que las del envés.

Referencias

- Alvarado Vázquez M.A. 1997. Morfología y anatomía de la hoja de 10 especies de plantas de diferentes estratos del matorral xerófilo en el municipio de China, N.L., México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. 227.
- Baranova M. 1992. Principles of comparative stomatographic studies of flowering plants. *Bot Rev*, 5B: 49-99.
- Bokhari M.H. & Hedge Y.C. 1977. Anatomical observations on a desert group of *Salvia* species. *Notes Roy. Bot. Gard-Edin.*, 35(3): 377-389.
- D'Ambrogio de Argüeso A. 1916. Manual de técnicas en histología vegetal. Primera edición. Editorial Hemisferio Sur, S.A. Argentina. 79.
- Dehgan B. 1982. Comparative anatomy of the petiole and infrageneric relationships in *Jatropha* (Euphorbiaceae). *Amer. J. Bot.*, 69(8): 1283-1295.
- DETENAL. 1978. Carta edafológica. Clave G14C39. Escala 1:50000.
- Fahn A. 1978. Anatomía vegetal. Primera edición. Editorial H. Blume. Madrid, España. 643.
- Franceschi V.R. & Horner H.T. 1980. Calcium oxalate crystals in plants. *The Botanical Review*, 46(4): 361-416.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México. Series Libros, 6: 90.
- Hickey L. 1973. Classification of the architecture of dicotyledonous leaves. *Amer. J. Bot.*, 60: 17-33.
- INEGI. 1986. Carta de efectos climáticos regionales. Clave G14-8 (Río Bravo). Escala 1:25000.
- Johansen D.A. 1940. Plant microtechnique. McGraw-Hill Book Company, INC. New York and London. 522.
- Johanson C.T. 1980. The leaf anatomy of *Leptospermum* Forst (Myrtaceae). *Aust. J. Bot.*, 28: 77-104.
- Kaplan A. and Inceoglu Ö. 2003. Leaf anatomy and morphology of 14 species belonging to the Turkish Rhinanthae (Scrophulariaceae) tribe. *Israel Journal of Plant Sciences*, 51(4): 297-305. <https://doi.org/10.1560/F8U1-X91V-MXJX-TGMH>
- Lersten N.R. & Beaman J.M. 1998. First report of oil cavities in Scrophulariaceae and reinvestigation of air spaces in leaves of *Leucophyllum frutescens*. *Amer. J. Bot.*, 85: 1646-1649.
- Lersten N.R. and Curtis J.D. 1997. Anatomy and distribution of foliar idioblasts in *Scrophularia* and *Verbascum* (Scrophulariaceae). *American Journal of Botany*, 84(12): 1638-1645.
- Lersten N.R. and Curtis J.D. 2001. Idioblasts and other unusual internal foliar secretory structures in Scrophulariaceae. *Plant Systematics and Evolution*, 227: 63-73.
- Metcalf C.R. and Chalk L. 1950. Anatomy of dicotyledons. Vol II. Clarendon Press Oxford. 979-998.
- Orians G.H. & Solbrig O.T. 1977. Convergent evolution in warm deserts. Dowden Hutchison & Ross, Inc. Pennsylvania, U.S.A. 52-105.
- Radford A.E., Dickson W.C., Nasse J.R. & Bell C.R. 1974. Vascular plants systematics. Primera edición. Editorial Harper & Row Publishers. New York, U.S.A. 877.
- Ramos Álvarez C.H. & González Medrano F. 1971. La vegetación de la zona árida veracruzana. *Flora de Veracruz. Anales del Instituto de Biología, UNAM*, 43(1): 77-100.
- Rocha Estrada A., Torres Cepeda T.E., González de la Rosa Ma. del C., Martínez Lozano S.J. y Alvarado Vázquez M.A. 1998. Flora ornamental en plazas y jardines públicos del área metropolitana de Monterrey, México. *SIDA*, 18(2): 579-586.
- Rudall P. 1979. Leaf and twig anatomy of *Eriope* a xeromorphic genus of Labiatae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 78: 157-180.
- Rudall P. 1980. Leaf anatomy of the subtribe Hyptidinae (Labiatae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 80: 319-340.
- Smith W.K. & Nobel P.S. 1978. Influence of irradiation soil water potential and leaf temperature on leaf morphology of leaf morphology of a desert broad leaf, *Encelia farinosa* Gray (Compositae). *Amer. J. Bot.*, 65(4): 429-432.
- Sutcliffe J. 1977. Las plantas y el agua. Primera edición. Ediciones Omega. Barcelona, España. 2-63.
- Thabet A.A., Ayoub I.M., Youssef F.S., Sayed E.A. and Singab A.N.B. 2022. Essential oils from the leaves and flowers of *Leucophyllum frutescens* (Scrophulariaceae): phytochemical analysis and inhibitory effects against elastase and collagenase in vitro. *Natural Product Research*, 36(18): 4698-4702. doi: 10.1080/14786419.2021.2000981.
- Ullah F., Ayaz A., Saqib S., Parmar G., Bahadur S. and Zaman W. 2020. Taxonomic implication of leaf epidermal anatomy of selected taxa of Scrophulariaceae from Pakistan. *Microsc Res Tech*, 84(3): 521-530. doi: 10.1002/jemt.23608.
- Vega Menchaca M., Verde Star J., Oranday Cárdenas A., Morales Rubio M. Núñez González M., Rivera Guillen M. 2013. Actividad antibacteriana y citotóxica de *Leucophyllum frutescens* (Berl.) I.M. Johnston del norte de México contra *Staphylococcus aureus* de aislados clínicos. *Rev Mex Ciencias Farm*, 44(2): 24-30.
- Villarreal Quintanilla J.A. y Estrada Castellón E. 2008. Listados florísticos de México XXIV. Flora de Nuevo León. Instituto de Biología, UNAM. México D.F. 153.
- Zerecero Leal G. 1981. Campos experimentales forestales. *Ciencia Forestal*, 1: 4-16.

VARIACIÓN ANUAL DEL POLEN DE *Parietaria pensylvanica* Muhl. ex Willd. (URTICACEAE) EN EL AIRE DEL ÁREA ME- TROPOLITANA DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO

A. Rocha Estrada*, M.A. Alvarado Vázquez,
J.L. Hernández Piñero y A.R. González Luna

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Botánica
Ave. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria,
San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.
*alejandra.rochaes@uanl.edu.mx

Resumen

Se estudia la variación anual del polen de *Parietaria pensylvanica* (Urticaceae) en el área metropolitana de Monterrey. Encontrándose que el índice polínico total de 1362 granos de polen, con una media diaria máxima de 34 granos de polen/m³ de aire para el 28 de marzo del 2012. Los meses que presentaron el mayor índice polínico son marzo y abril con 261 y 296 granos de polen, respectivamente. Con respecto a la variación horaria se registraron altas concentraciones entre las 12:00 y 19:00 horas con un total de 578 granos de polen.

Palabras clave: alergia, índice polínico, Monterrey, *Parietaria*

Introducción

La especie de *Parietaria* es una hierba anual, erguida o decumbente, delgada, de 10 a 50 cm de alto, pubescente; pecíolos delgados, de la mitad de la longitud de la hoja; hojas lanceoladas o lanceolado-oblongas, de 2.5 a 7.5 cm de largo por 0.5 a 2.5 cm de ancho, aguda a acuminadas en el ápice, cuneadas o redondeadas en la base, cistolitos evidentes en la epidermis como pequeñas ampollas generalmente abundantes; flores

agrupadas en glomérulos casi siempre axilares, brácteas lineares, de 4 a 6 mm de largo; tépalos de 2 mm de largo; aquenios brillantes, cafés, de 1 mm de largo y contiene una sola semilla (Correll y Johnston, 1970; Gleason y Cronquist, 1991; Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Por otra parte, el polen de *Parietaria* se ha encontrado que es causante de enfermedades alérgicas como la polinosis y también está relacionado con el asma (García Cobaleda *et al.*, 1998; Trigo Pérez *et al.*, 2007). Es frecuente en el aire, lo cual ha sido corroborado en estudios realizados en diferentes países como México (Rocha Estrada *et al.*, 2009; Rocha Estrada *et al.*, 2013), España (Trigo Pérez *et al.*, 2007; Gutiérrez Bustillo *et al.*, 2003), Italia (Voltoni *et al.*, 2000; Ciprandi *et al.*, 2018), Turquía (Terzioglu *et al.*, 1998), Estados Unidos (Kaufman, 1990), entre otros.

Material y Métodos

Descripción del área de estudio

Ubicación geográfica. El estudio se llevó a cabo con un captador volumétrico tipo Hirst que se encuentra situa-

do en el nivel superior del edificio "C" de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en el municipio de San Nicolás de los Garza, N. L. (25°43'29.9" latitud norte y 100°18'58.5" longitud oeste).

Orografía. Su ubicación en la planicie costera del Golfo Norte "llanura esteparia del noreste" explica su altitud promedio que fluctúa entre los 520 y 420 msnm, de Oeste a Este existe una pequeña área, al Sureste del cerro del Topo, cuya altitud alcanza los 800 msnm y en la colonia Loma del Roble llega a los 600 msnm. La altitud en el centro de San Nicolás es de 495 msnm. El punto más alto está en el cerro del Topo y la parte más baja se ubica en La Fe, al Oriente del Municipio de San Nicolás. Los límites son al Norte con Escobedo (6 km Sendero Divisorio) y Apocada en más de 8 Km; al Sur con Monterrey (12 km Avenida Los ángeles); al Este con parte de Guadalupe y Apocada y al Oeste con el área del Topo Chico en Monterrey.

Hidrografía. En época de lluvia, se forman corrientes de agua en los arroyos del Topo Chico y de la Talaverna. El arroyo del Topo Chico, anteriormente se unían las aguas de los manantiales del Cerro del Topo Chico y del Ojo de Agua de la estancia que existía a un lado de la colonia Cuauhtémoc de este Municipio. Los pequeños arroyos del Topo y La Talaverna pertenecen a la subcuenta del río Pesquería, corriente perteneciente a la gran cuenca del río San Juan; ambos arroyos captan el agua que baja de la sierra de las Mitras, lomerío de las Animas y cerro del Topo, atravesando de Oeste a Este el Municipio (Gobierno de San Nicolás).

Clima. El clima característico predominante de acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen modificado por García (2004) es el seco estepario cálido y extremo, con lluvias irregulares a finales del verano clasificadas -BS(h') hw(e'). La temperatura media anual es de 22.1°C. La precipitación escasa, entre 300 y 500 mm, como consecuencia de su situación con respecto del movimiento de la faja subtropical de presión.

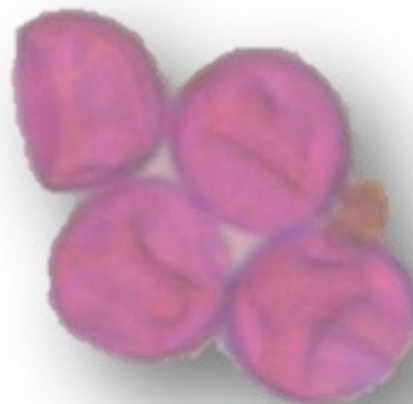


Figura 1. Granos de polen pantoporados de *Parietaria pensylvanica*.

Estudio aerobiológico

Para la captura y recuento del polen atmosférico se tomaron en cuenta las recomendaciones de The International Association for Aerobiology (Jager *et al.*, 1995). El muestreo se llevó a cabo en el edificio de unidad de C de la Facultad de Ciencias Biológicas ubicado en el municipio de San Nicolás de los Garza, Nuevo León. Para ello se cuenta con un colector volumétrico tipo Hirst (Lanzoni Co., Italia) y una vez verificado su correcto funcionamiento, semanalmente se preparó una cinta Melinex® de 345 mm recubierta con aceite de silicón como adhesivo y se colocó en el tambor rotatorio del aparato. El aparato se regula a un flujo de aire constante de 10 litros/minuto, el cual penetra a través de un orificio de 2x14 mm, quedando las partículas sólidas impactadas en la cinta, la cual se va desplazando a una velocidad de 2 mm/hora. El tiempo de una rotación completa del tambor es de siete días exactos. La cinta se cambia semanalmente y una vez retirada del aparato se transporta cuidadosamente al Laboratorio de Anatomía y Fisiología Vegetal para su procesamiento. Ya en el laboratorio, la cinta se divide en siete segmentos, cada uno de 48 mm de longitud, correspondientes a cada día de muestreo; cada uno de estos segmentos se adhiere con glicerogelatina teñida con fucsina a un portaobjetos estándar de vidrio. Una vez proce-

sadas las muestras de los colectores, se procede a analizarlas al microscopio óptico. Para la identificación de los granos de polen de *P. pensylvanica*, se basó en Erdtman (1966), Faegri e Iversen (1989), Kapp *et al.*, (2000) y Lacey y West (2006).

También se realizó la comparación de las muestras polínicas con la colección de referencia, donde se encuentran representadas las especies que componen la vegetación del área de estudio. Para determinar la concentración media diaria, se realizaron cuatro barridos longitudinales un conteo en cada muestra montada, para lo cual se leyó al microscopio óptico utilizando el objetivo de 40x, según las recomendaciones de Domínguez *et al.*, (1992). Después se identificaron y cuantificaron los granos de polen presentes y los resultados obtenidos de este conteo se extrapolan a unidades de granos de polen por volumen de aire (granos de polen/m³), mul-

tiplicándose por el factor de corrección de 0.54. Además, se determinó el índice polínico mensual y total.

Resultados y Discusión

Morfología polínica

Granos 3-zonoporado, a veces 4 o 5-zonoporado, isopolar, con simetría radial; en vista ecuatorial casi circular, en vista polar circular, con P/E=0.75-0.93; tamaño pequeño de 11 a 16 μ . Aperturas simples de tipo poro, circulares de 2 μ de diámetro, con anillo a veces muy difuso y opérculo que se desprende con facilidad. Exina muy delgada de menos de 1 μ de grosor. Téctum completo, infratectum formado por columnillas muy pequeñas y densas. Superficie equinulada con espínulas uniforme y densamente distribuidas por toda la superficie (Trigo Pérez *et al.*, 2007) (Figura 1).

Comportamiento aerobiológico

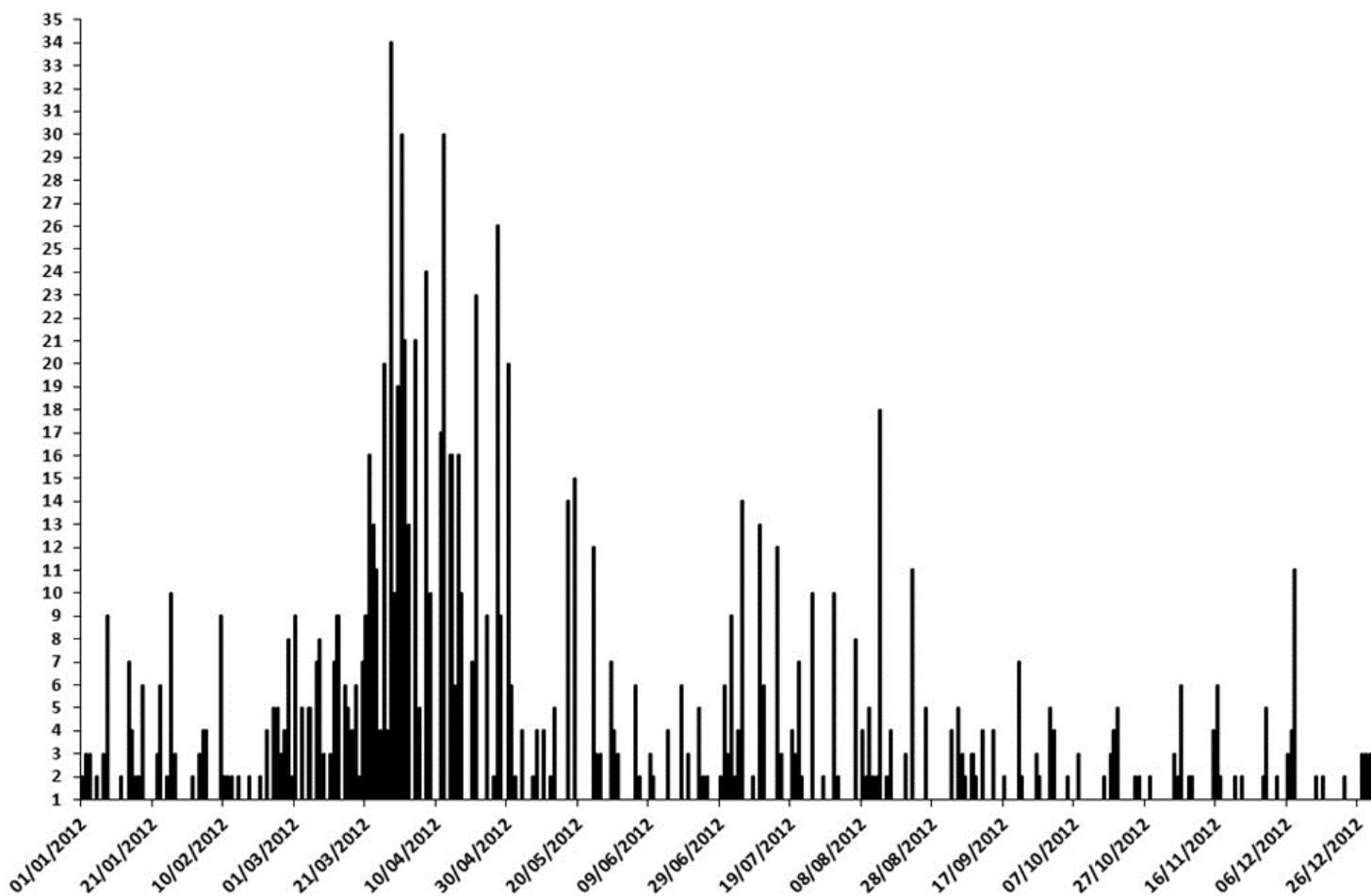


Figura 2. Media diaria de granos de polen de *P. pensylvanica* por metro cúbico de aire.

Este tipo polínico se caracteriza por su presencia continua en el aire, ya que se le encontró durante 351 días (1362 granos) durante el periodo de estudio. La media diaria máxima de 34 granos de polen/m³ de aire se registró el 28 de marzo (Figura 2). En el área mediterránea el polen de Urticaceae es la primera causa de polinosis, debido principalmente a *Parietaria* spp (D'Amato y Liccardi, 1994; Ciprandi et al., 2018). Los recuentos por encima de 30 granos de polen/m³ de aire como media diaria reactivan los síntomas en la mayoría de los casos de alergia al polen de Urticáceas. Se ha comprobado que este nivel de reactivación es mucho más elevado en pacientes que se exponen a grandes cantidades de polen y que disminuyen a lo largo de la época de polinización debido posiblemente al efecto de inicio o cebado (priming) (Valero Santiago y Picado Vallés, 2002).

Por su parte Trigo Pérez *et al.* (2007), mencionan que concentraciones de polen de 15 granos de polen/m³ de aire son suficientes para desencadenar trastornos alérgicos, por lo que se considera como una de las principales causas de polinosis en Vélez-Málaga (España). Por otro lado, para este estudio se encontró que los meses que presentaron el mayor índice polínico corresponden a marzo y abril con 261 y 296 granos de polen, respectivamente (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con lo reportado por Trigo Pérez *et al.* (2007), ya que mencionan que los meses con mayores concentraciones de polen de Urticaceae se presentan de febrero a mayo, pero también durante los meses de noviembre y diciembre.

Con respecto a la variación horaria se registraron altas concentraciones entre las 12:00 y 19:00 horas con un total de 578 granos de polen y va disminuyendo gradualmente en las siguientes horas (Figura 3). Por su parte Vaquero del Pino (2015), encuentra que para la estación polínica de Albacete (Toledo, España), que las mayores concentraciones de polen se producen entre las 12:00 y 18:00 horas, y que a partir de ese momento empieza a disminuir.

Cuadro 1. Índice polínico mensual de *P. pensylvanica*.

Mes	Polen	Mes	Polen
Enero	83	Julio	117
Febrero	75	Agosto	84
Marzo	261	Septiembre	64
Abril	296	Octubre	47
Mayo	105	Noviembre	52
Junio	61	Diciembre	57

Referencias

- Calderón de Rzedowski G. & Rzedowski J. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Segunda edición. Instituto de Ecología, A.C., Centro Regional del Bajío. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. 1406.
- Ciprandi G., Puccinelli P., Incorvaia C. & Masieri S. 2018. *Parietaria* allergy: an intriguing challenge for the allergist. *Medicina (Kaunas)*, 54(6):106. doi: 10.3390/medicina54060106. PMID: 30544607; PMCID: PMC6306946.
- Domínguez-Vilches E., Galan C., Villamandos F. & Infante F. 1992. Handling and evaluation of the data from aerobiological sampling. *Rea Monogr*, 1: 1-18.
- Erdtman G. 1966. Pollen morphology and plant taxonomy (An introduction to Palinology I, Angiosperms). Hafner Publishing Company. 545
- Faegri K. and Iversen J. 1989. Text book of pollen analysis. IV edition. The Blackburn Press. 328.
- García Cobaleda I., De la Torre Morin F., García Robaina J.C. & Hardisson de la Torre A. 1997. The capturing of pollens in the atmosphere of La Laguna City, Tenerife, Canary Islands 1990-1995. *Allergol Immunopathol*, 25 (6): 272-279.
- Gutiérrez Bustillo M., Sáenz Laín C. & Aránguez Ruiz C. 2003. Polen atmosférico en la comunidad de Madrid. Documentos Técnicos de Salud Pública, 70. Instituto de Salud Pública, Madrid. 204.

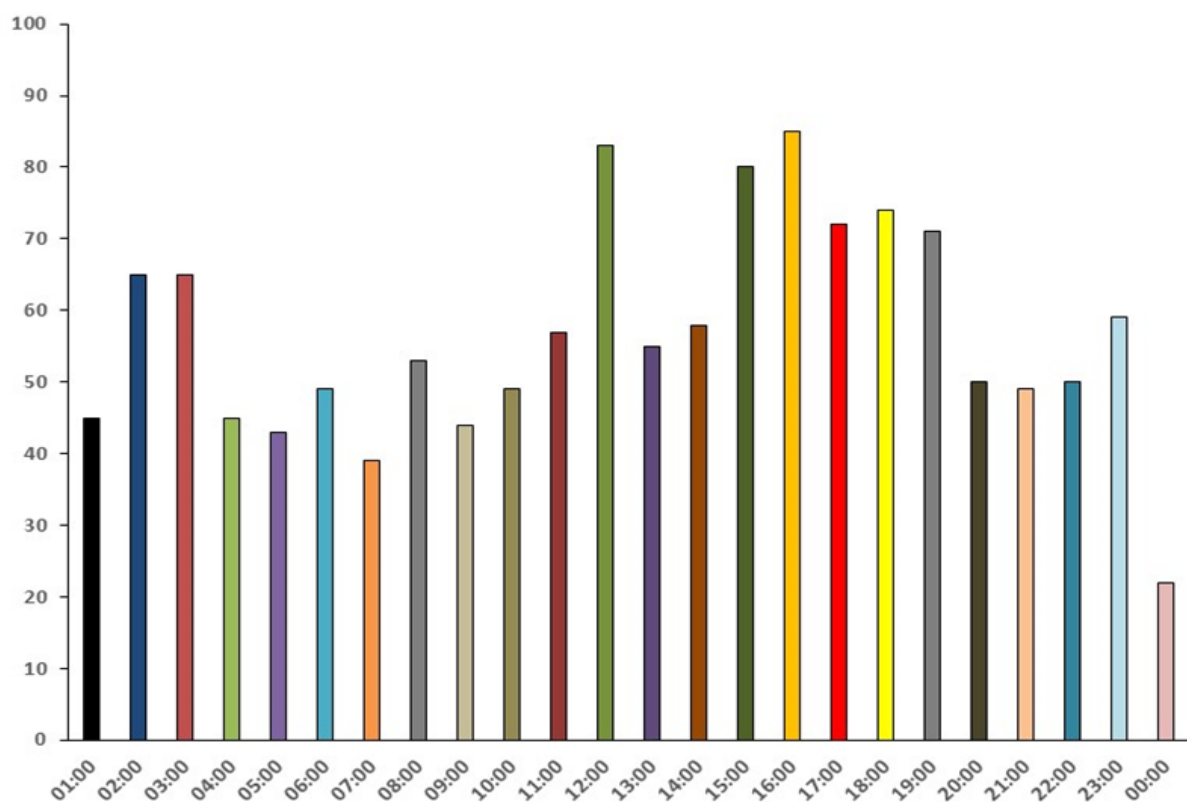


Figura 3. Variación horaria de los granos de polen de *P. pensylvanica*.

Jager S., Mandrioli P., Spieksma F., Emberlin J., Hjelmros M., Rantio-Lehtimäki A., Domínguez-Vilches E. & Ickovic M.R. 1995. Methodology for routinely performed monitoring of airborne pollen recommendations. *Aerobiologia*, 11: 69-73.

Kapp R.O., Davis O.K. & King J.E. 2000. Pollen and spores. Second edition. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation Publication, College Station Texas.

Kaufman H.S. 1990. *Parietaria*: an unrecognized cause of respiratory allergy in the United States. *Ann Allergy*, 64(3): 293-296.

Lacey M.E. & West J.S. 2006. The air spora. A manual for catching and identifying airborne biological particles. Springer, Dordrecht. 156

Rocha Estrada A., Alvarado Vázquez M.A., Torres Cepeda T.E. & Foroughbakhch Pournavab R. 2009. Principales tipos polínicos presentes en el aire de la zona norte del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. *Ciencia UANL*, 11: 69-76.

Rocha-Estrada A., Alvarado Vázquez M.A., Piñero Hernández J.L., De León Alanís D.D. & Guzmán Lucio M.A.

2013. Diversidad polínica en la atmósfera del área metropolitana de Monterrey, N. L., octubre 2004 a marzo 2005. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 1063-1069.

Rodríguez-Rajo F.J., Seijo M.C. & Jato V. 2002. Estudio aerobiológico de la atmósfera de A Guardia NO de España (1989). *REA*, 7: 7-15.

Terzioğlu F., Sin A., Kokuludag A., Kirmanz C., Erdem N., Sebik F. & Kabakci T. 1998. Sensitivity to *Parietaria* pollen in Izmir, Turkey as determined by skin prick and serum specific IgE values. *J. Investig Allergol Clin Immunol*, 8(3): 180-183.

Trigo Pérez M.M., Melgar Caballero M., García Sánchez J., Recio Criado M., Docampo Fernández S. & Cabezero Artero B. 2007. El polen en la atmósfera de Vélez-Málaga. Concejalía de Medio Ambiente, Ayuntamiento de Vélez-Málaga, España. 155.

Vaquero del Pino C. 2015. Estudio de la variación intradiaria de los principales tipos polínicos en la atmósfera de Castilla-La Mancha. Tesis de doctorado, Universidad de Castilla-La Mancha Departamento de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica. 509.



INSTRUCCIONES A LOS AUTORES QUE DESEAN SOMETER ARTÍCULOS O CONTRIBUCIONES PARA SU PUBLICACIÓN EN LA REVISTA PLANTA DE LA UANL (ISSN 2007-1167)

PLANTA UANL es el órgano de difusión y divulgación del Cuerpo Académico y departamento de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. El objetivo principal de la revista es difundir el conocimiento botánico del noroeste de México en la comunidad académico-científica e interesar al público en general en los temas botánicos. La revista recibe para su publicación todo tipo de artículos que aborden algún aspecto de la Botánica, tanto conocimiento empírico, como resultados de estudios científicos, notas técnicas, etc. sin discriminación alguna respecto a las ideologías, creencias, raza o filiación política de los autores para su publicación.

ESPECIFICACIONES

Para someter un artículo o participación en la revista, todos los escritos deberán elaborarse en procesador de textos con formato Microsoft WORD. El título deberá ser acorde al contenido del artículo o contribución. El título de los artículos debe ser breve, su longitud no deberá ser mayor a dos renglones al escribirlo en mayúsculas con letra: ARIAL EN NEGRITAS Y TAMAÑO 14. El cuerpo del artículo deberá presentarse en hoja tamaño carta con márgenes normales (superior e inferior 2.5 cm, izquierdo y derecho de 3 cm) e interlineado de 1.5 renglones, con un espacio entre párrafos y sin sangría al inicio del párrafo. La letra a usar en el texto será: Calibri tamaño 12 sin negrita y éste deberá justificarse en ambos márgenes.

Se recomienda el uso de apoyos visuales (gráficos, ilustraciones, tablas o fotografías) que atraigan la atención del lector y faciliten la comprensión de la lectura. En el caso de gráficos, fotografías o ilustraciones, estas se agruparán bajo el término genérico de Figuras. Todas ellas deberán contar con un pie de figura que contenga el número de la misma y su descripción como sigue: Fig. 1 en letra Calibri 10 en negritas. A diferencia de las figuras, las tablas ten-

drán una numeración independiente, consecutiva de acuerdo a su aparición y contarán con una descripción en la parte superior de la misma. Esta descripción tendrá el mismo formato que las figuras. Los pies de figuras deberán aparecer al final del artículo, al igual que las tablas con sus encabezados. Su posición deberá especificarse claramente en el texto. Todas las figuras, sin importar el formato deberán incluirse en archivo aparte (El formato de las figuras debe ser JPEG, GIF, BMP, TIF o similar), no deberá tener ningún tipo de liga con páginas de la red y deberá estar plenamente identificada. Para cada imagen deberá indicarse si proviene de un archivo propiedad del autor y de no ser así, deberá especificarse su procedencia y autor. Se sugiere Identificar los archivos de imágenes con el número de figura, por ejemplo figura1.jpg, figura2.bmp, etc.

TIPOS DE CONTRIBUCIÓN

A continuación se presenta un listado de las secciones básicas de que consta la revista y posteriormente se presenta una descripción del contenido que se incluye en cada una de ellas. Favor de indicar en que sección desea que se incluya su contribución al momento de enviarla a los editores.

Editorial

Comúnmente la extensión de esta sección es de una cuartilla o menos. Aunque la labor de edición de la revista es responsabilidad de los editores y comúnmente son ellos los que escriben el editorial de cada número, Ud. puede ser editorialista invitado si así lo desea y hacer llegar su propuesta por escrito a nuestro correo, junto con el mensaje, reflexión u opinión personal sobre algún aspecto de la Ciencia Botánica, referente a su estado actual o algún aspecto relacionado con su ejercicio como profesión, su

regulación, desarrollo, tendencia, etc. El escrito será revisado por los editores y se le hará saber si resulta aprobado para su publicación y el número en el que aparecerá. También puede coordinar la edición de un número completo de la revista, ya sea: a) proponiendo el tema principal e invitando a los autores que participarán aportando el material para cada una de las secciones en el mismo, o bien b) desarrollando un número especial, en cuyo caso pueden aparecer sólo algunas de las secciones como son la agenda y otras acordes al tema de ese número.

Conoce tu flora

Comprende escritos principalmente, aunque no exclusivamente, sobre especies vegetales que habitan el noreste de México. En ellos se debe incluir al menos una diagnosis o descripción breve de la especie, grupo o tipo de vegetación que se aborda, su distribución y resaltar su importancia ecológica, etnobotánica, comercial, industrial o de otra índole. Se sugiere acompañar las contribuciones para esta sección con imágenes acordes al objeto de estudio.

Solo Ciencia

En esta sección se publican contribuciones relacionadas con la botánica en todas sus áreas (taxonomía, sistemática, morfología, anatomía, fisiología, genética, biotecnología, reproducción, ecología, fitogeografía, aprovechamiento, usos, etc.). Son por lo general trabajos originales donde se presentan resultados de investigación o revisiones bibliográficas de temas botánicos o afines. La extensión puede ser variable, pero se sugieren al menos seis cuartillas incluyendo tablas y figuras. Ver plantilla anexa para elaboración de manuscrito. Los artículos de esta sección son revisados inicialmente por los editores en términos de formato y pertinencia de la contribución, si el trabajo es adecuado para la revista se turna para su revisión a dos árbitros especialistas y de reconocida trayectoria científica, quienes emitirán un dictamen respecto al trabajo en cuestión.

La estructura recomendada para estos artículos es la siguiente:

- 1.- Título (mayúsculas, letra arial negrita tamaño 14)
- 2.- Autores (altas y bajas, letra arial negrita tamaño 12)
- 3.- Adscripción de los autores (altas y bajas, letra arial normal tamaño 12)
- 4.- Autor para correspondencia con datos de contacto (altas y bajas, letra arial normal tamaño 12)
- 5.- Resumen (letra calibri normal tamaño 12, interlineado

1.5 espacios, justificado, subtítulo de la sección en negrita: Resumen)

6.- Introducción*

7.- Material y Métodos*

8.- Resultados y discusión*

9.- Conclusiones*

10.- Literatura Citada*.

El formato y tipografía de estas secciones es similar al del Resumen. Dejar un espacio entre párrafos y no utilizar sangría al inicio de los mismos. En caso de que sean necesarios subtítulos dentro de las secciones de introducción, material y métodos y Resultados y discusión se sugiere utilizar letra calibrí normal tamaño 12.

Botánica Aplicada

Para esta sección se consideran contribuciones de trabajos de revisión y análisis bibliográfico sobre todas las aplicaciones de la botánica, así como usos potenciales y perspectivas. El formato sugerido puede ser tipo ensayo o considerar la estructura de los artículos de la sección Solo Ciencia.

Etnobotánica

En esta sección se hace énfasis en el uso tradicional de las plantas y sus saberes históricos y ancestrales. Las contribuciones pueden incluir descripciones de una o más plantas y los beneficios o perjuicios que representa(n) para el hombre o sus animales domésticos, ya sea que se trate de plantas de uso tradicional en rituales o ceremonias, comestibles, medicinales, tóxicas, o de las que se extraen productos, como fibras, resinas, aceites, etc.

ENVIO DE TRABAJOS Y/O CONTRIBUCIONES

Preparar su documento en formato WORD (*.DOC, preferentemente versión 2003) de acuerdo a las especificaciones antes mencionadas y enviarlo junto con los archivos de figuras a planta.fcb@gmail.com, una vez recibido se le enviará una confirmación de recibido en un plazo no mayor a tres días hábiles.

EDITORES

Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez,

Dr. Sergio M. Salcedo Martínez

Teléfono de contacto:

8329-4110 extensiones 6456 y 6426

LA CINTA AZUL

Anónimo

Una maestra decidió llevar este proyecto a la comunidad, para ver que clase de influencia tendría en ella. Dio a cada uno de sus estudiantes tres cintas, y les dijo que fueran e hicieran conocer a otros esta ceremonia de reconocimiento personal.

Entonces tendrían que hacer un seguimiento de los resultados, ver quiénes honraron a la clase la semana siguiente. Uno de los chicos de la clase fue a donde un joven ejecutivo de una compañía cercana, y le reconoció por haber planificado su carrera. Colocó una cinta azul en su camisa, y luego le dio otra de las cintas.

- Estamos haciendo en la clase un proyecto sobre reconocimiento -le dijo- y nos gustaría que usted busque a alguien quien admire para que le dé una de las cintas azules, y la otra para que esa persona haga lo mismo con alguien más, a fin de mantener esta ceremonia en marcha. Una vez hecho esto, por favor, infórmeme que sucedió.

Más tarde, ese mismo día, el joven ejecutivo fue a ver a su jefe, quien a propósito tenía fama de ser un individuo gruñón y de mal humor. Lo hizo sentar y le dijo que lo admiraba profundamente por ser un genio creativo. El jefe se sorprendió. El joven ejecutivo le preguntó si aceptaría la cinta azul como regalo, y le pidió permiso de colocársela en el pecho.

- Seguro, hazlo - contestó su sorprendido el jefe-.

El joven ejecutivo tomó la cinta azul y la colocó en el saco del jefe, sobre su corazón.

- ¿Me haría un favor?, le dijo mientras le daba la última cinta, quisiera tomar esta cinta extra, y darla

como prueba de admiración a alguien más, el chico que me dio estas cintas está llevando a cabo un proyecto de su escuela. Queremos mantener en marcha esta ceremonia de reconocimientos, y ver cómo afecta a las personas.

Esa noche el jefe llegó a su casa, se dirigió a su hijo de catorce años de edad y se sentó con él.

- Hoy me sucedió algo increíble, le dijo. Estaba en mi oficina cuando uno de los jóvenes ejecutivos entró, me dijo que me admiraba y me dio una cinta azul por ser un genio creativo.

Después la puso en mi saco, sobre mi corazón, esta cinta azul que dice "Lo que yo soy, es lo que importa". Me dio una cinta extra y me pidió que encontrara a alguien más a quien reconocer. Mientras manejaba a casa esta noche, empecé a pensar a quien honrar con esta cinta, y pensé en ti.

Quiero darte este reconocimiento. Mis días son realmente agitados y cuando llego a casa no te presto mucha atención. A veces te grito por no sacar buenas notas en el colegio, y por tener tu dormitorio hecho un desastre, pero esta noche quiero sentarme contigo aquí y hacerte saber que tú eres importante para mí. Tú y tu madre son las personas más importantes de mi vida. ¡Eres un gran chico y te amo!

El sorprendido muchacho comenzó a sollozar, y no pudo contener las lágrimas. Todo su cuerpo se sacudió.

Papá, le dijo llorando y mirándolo firmemente, estaba planeando suicidarme mañana porque pensaba que tu no me querías.

Pero ya no necesito hacerlo!