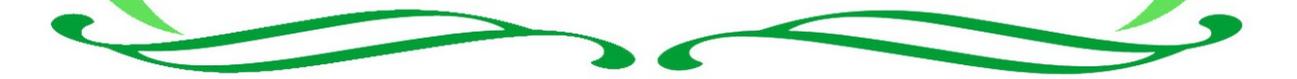


ISSN: 2007-1167



P L A N T A



Año 15, No. 26

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Diciembre 2019





# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

Una publicación de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Ing. Rogelio G. Garza Rivera  
**Rector**

Dr. Santos Guzmán López  
**Secretario General**

M.A. Emilia Edith Vásquez Farías  
**Secretario Académico**

Dr. Celso José Garza Acuña  
**Secretario de Extensión y Cultura**

Antonio Jesús Ramos Revillas  
**Director de Editorial Universitaria**

Dr. José Ignacio González Rojas  
**Director de la Facultad de Ciencias Biológicas**

Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez  
Dr. Sergio M. Salcedo Martínez  
Dr. Sergio Moreno Limón  
**Editores Responsables**

Dra. Alejandra Rocha Estrada  
**Editora Invitada**

Dr. Jorge Luis Hernández Piñero  
**Circulación y Difusión**

PLANTA, Año 15, Nº 26, Julio-Diciembre 2019. 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, Dr. Sergio M. Salcedo Martínez y Dr. Sergio Moreno Limón. Reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2015-091013075700-102. 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: 20 de Diciembre de 2019, Tiraje: 500 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 2019  
planta.fcb@gmail.com

## Contenido

### IN MEMORIAM

Dr. Ratikanta Maiti	3
Anecdótico	4

### BOTÁNICA APLICADA

Los aceites esenciales y su importancia	7
Diseño de una vacuna contra el virus Ébola para su expresión en tomate. Un enfoque bioinformático	11
Aplicaciones terapéuticas y composición química de <i>Ananas comosus</i> (L.) Merr. (piña). Un estudio de revisión	15
Biorremediación con algas	24
Algas de importancia biotecnológica	30

### SOLO CIENCIA

Aeropalinología de Cupressaceae-Taxodiaceae en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México	40
Determinación de pigmentos en hospedero-parásito ( <i>Duranta repens</i> L. y <i>Cuscuta indecora</i> Choisy)	46
El fresno <i>Fraxinus berlandieriana</i> DC., Una especie del noreste de México no reconocida como nativa en el estado de Nuevo León	51

### EL URBANITA VERDE

El ciclo vital de <i>Cycas revoluta</i> Thumb en el área metropolitana de Monterrey N.L.	58
Las plantas y la contaminación del aire en las ciudades	62

### PARA REFLEXIONAR

Alcanza tu sueño	72
------------------	----

Imagen portada  
*Cirsium texanum* Buckl.  
Marco A. Alvarado Vázquez

# In Memoriam

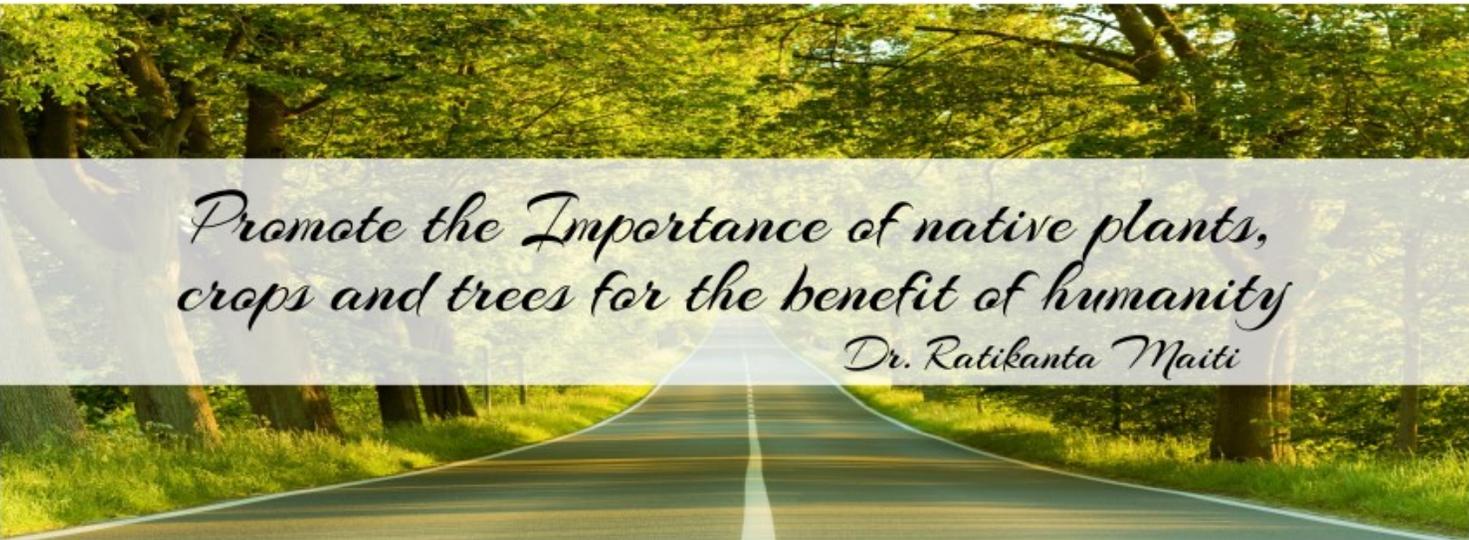
## *Dr. Ratikanta Maiti*



**Dr. Ratikanta Maiti**  
**1931-2019**

**E**l 19 de Junio de 2019 dejó de existir en vida un entrañable compañero que laboró en el Departamento de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de esta Universidad durante varios años. Durante su larga carrera profesional ganó el aprecio y la admiración de muchos colegas debido a su colaboración en el desarrollo de los programas de posgrado, pero sobre todo por su gran productividad científica publicada en prestigiosas revistas y en libros de importantes editoriales. En su fructífera vida fue un renombrado especialista en Botánica y en Fisiología y Anatomía Vegetal, enfocando sus investigaciones en la dilucidación de los mecanismos de tolerancia al estrés biótico y otros temas relacionados con el uso, aprovechamiento y propagación de los recursos vegetales en plantas de cultivo y de importancia económica. El Dr. Maiti, como todos le decíamos, nació en La India el 1 de Agosto de 1931, siendo sus padres Girish y Josodha Maiti. Pasó su infancia en un ambiente de carencias y pobreza que hicieron de él un luchador preparado para vencer cualquier obstáculo que se le presentara en su vida.

Su naturaleza curiosa y dedicación lo llevó a graduarse con el mas alto honor en la Universidad de Calcuta en 1960 para continuar sus estudios de posgrado en la misma Universidad hasta su egreso como Doctor en Filosofía en 1968 y Doctor en Ciencias en 1974. Trabajó durante 9 años en el Instituto de Investigación Agrícola del Jute y 10 años en el afamado Instituto Internacional de Investigación de Cultivos de Zonas Semiáridas Tropicales (ICRISAT). Posterior a su llegada a México en 1985, trabajó durante 15 años como profesor investigador en la Universidad Autónoma de Nuevo León donde tuvimos la oportunidad de compartir sus conocimientos, su experiencia profesional, sus anécdotas personales y su carisma. Ya en el siglo XXI, pasó a colaborar como profesor visitante en la Universidad de las Américas, en Cholula, Puebla durante algunos años mas formando a jóvenes investigadores en temas de interés botánico, luego de los cuales vivió en la ciudad de Hydebarah, en su natal India. Sin embargo, su corazón en parte mexicano lo obligó a regresar a Monterrey de nuevo hasta el final de sus días, los cuales mantuvo siempre ocupados asesorando investigaciones en las Facultades de Ciencias Biológicas y Ciencias Forestales de la UANL, manteniéndolo en todo momento su elevada productividad en artículos científicos y libros sobre el uso de los recursos vegetales. Durante su estancia en México gozó de la distinción de Investigador Nacional por el SNI durante 18 años ininterrumpidos por sus investigaciones, además del prestigio y premios de reconocimiento nacional e internacional. Nuestro más sentido pésame a su esposa, Sra. Sila, así como a sus hijos Madhumita, Sandip y Sanjay. Descanse en paz el Dr. Ratikanta Maiti, entrañable amigo.



*Promote the Importance of native plants,  
crops and trees for the benefit of humanity*  
*Dr. Ratikanta Maiti*

### ANECDOTARIO

A decir verdad conocemos muy poco acerca de la vida cotidiana que el Dr. Maiti llevaba en su país natal, pero aquí en México fue un personaje que hacía notar su presencia entre colegas y estudiantes. Siempre estuvo dedicado a su objetivo de motivar a los jóvenes investigadores de una forma tan apasionada que era difícil mantener una conversación con él sin que involucrara temas de ciencia, investigación y lo concerniente a la vida universitaria. Alguna vez se me ocurrió comentarle que tomara un descanso y se alejara un poco a disfrutar de otros pequeños placeres de la vida, como ir al cine, cuando de manera enojada me respondió que su placer está en su trabajo, en escribir artículos de investigación y de divulgación, eso y el bien de su familia era lo que daba sabor a su vida. Tanta era su tenacidad que se involucraba en varios proyectos a la vez manejándose de manera muy diligente en todos, sacando de manera constante varias publicaciones en revistas científicas, capítulos de libro y libros completos de su autoría. “Esa es mi comida” solía decir. En total suman más de 450 artículos y cerca de 50 libros a lo largo de su carrera científica. Uno de sus colegas, el Dr. Badii, comenta que el Dr. Maiti era la tecla más rápida del Noreste, en referencia a su alta e inigualable capacidad productiva. Cuando llegó a México a mediados de la dé-



**El Dr. Maiti realizando investigación en campo con un estudiante donde revisan plantas de sorgo**

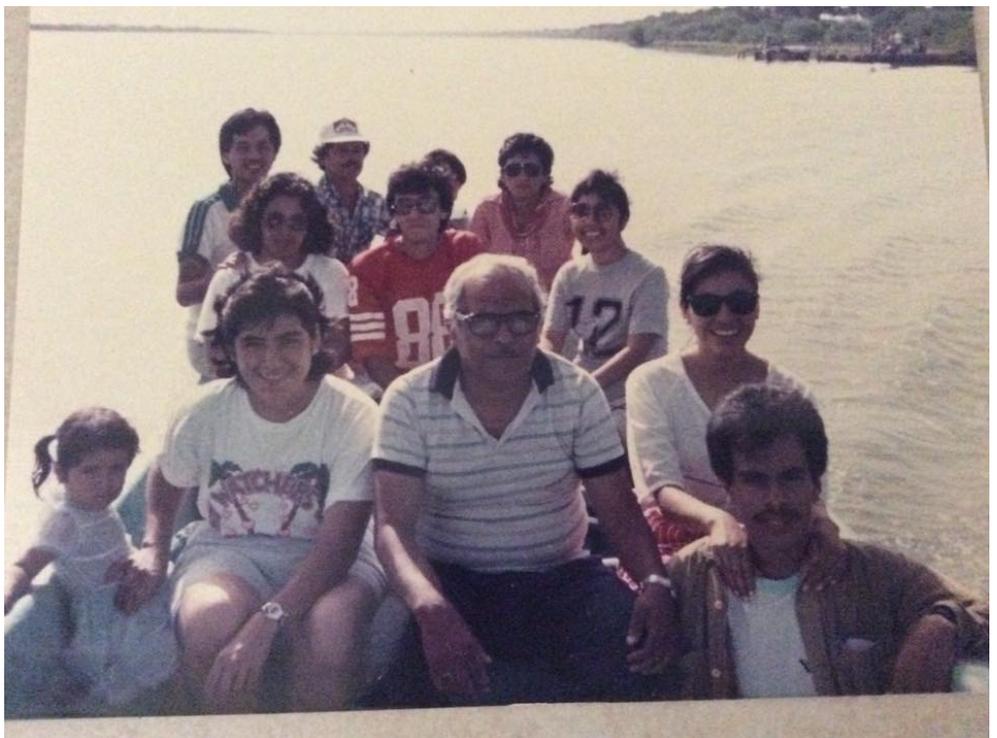
cada de los 80, observó que había investigadores que no hacían suficiente esfuerzo en publicar los resultados de sus investigaciones y se dedicó a impulsarlos y motivarlos a que lo hicieran. Igualmente estaba muy consciente de la importancia del recurso financiero para la realización de investigaciones científicas, pero siempre decía que si este recurso no llegaba no era excusa para dejar de investigar y que con poco presupuesto se podían obtener logros significativos en la resolución de problemas de manera científica... y así lo demostró muchas veces con sencillos experimentos. Me dio mucha risa escuchar como alguna vez le dijo a una estudiante “usted péguese a mí como garrapata” como una forma de decir estoy aquí para

ayudarla. En mi caso particular, yo estaba a cargo de los equipos de microscopía electrónica en la década de los años 90 y logramos llevar a cabo algunas ideas sobre la interpretación de las características ultraestructurales de los tejidos vegetales para entender su fisiología y aplicar esos conocimientos a situaciones prácticas, como la germinación de semillas, la adaptación a situaciones de estrés, la palatabilidad del forraje por el ganado y otros temas ingeniosos. Mi agradecimiento al Dr. Maiti por su apoyo y sincera amistad.

**Dr. Jorge L. Hernández Piñero**

Mi primer trabajo al regresar de mis estudios de postgrado, Doctorado en Ciencias de Alimentos en los Estados Unidos, fue en la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB). Los planes eran contar con un Doctorado en Alimentos que logramos establecer y apoyar a las licenciaturas de la Facultad. Con el tiempo se fueron dando colaboraciones con otros investigadores de la Facultad, principalmente con el área de Acuicultura con la Dra. Elizabeth Cruz y de Botánica Económica con el Dr. Maiti. La intención fue la de incluir como ingredientes en las dietas para camarón materias primas no tradicionales.

Posteriormente, como Secretario Académico de Postgrado y la de Editor de Publicaciones Biológicas de la FCB/UANL, las interacciones con el Dr. Maiti se fueron profundizando. El Dr. Maiti ... creo que nadie pudo tutearlo por su nombre ... apoyó fuertemente a la revista como co-editor y comenzó a contribuir con varias publicaciones. Poco a poco me fui involucrando en algunas de sus investigaciones y a participar en sus publicaciones. Todos los que conocimos al Dr. Maiti sabemos que no podía dejar de trabajar. Realizaba



**El Dr. Maiti (aprox. 1992) en trabajo de investigación en Tamaulipas acompañado de estudiantes de la Facultad de Ciencias Biológicas. Entre los acompañantes la Dra. Maria Luisa Cárdenas, el Dr. Sergio Moreno, los Biólogos Amador, Aracely, Bertha Hilda, Magaly, Mireya y Juan de Dios.**

varios proyectos simultáneamente y, en lo posible, trataba de involucrar a sus colegas y estudiantes. Los que participamos, no podemos negar la importancia del Dr. Maiti en nuestro desarrollo profesional.

Entre los proyectos del Dr. Maiti cabría destacar el impulso hacia el cultivo de cereales adaptados a zonas semiáridas como el mijo perla y el sorgo. Este proyecto resultó en el otorgamiento de un premio como investigador por parte de la UANL. También desarrolló varios manuales prácticos para laboratorios de botánica. Sus proyectos de investigación resultaban en decenas de artículos científicos publicados en revistas nacionales e internacionales, algunos de ellos presentados en varias reuniones científicas. A lo largo de finales de los 1980's y hasta inicios del siglo XXI participé con el Dr. Maiti en la escritura de varios libros asociados a los principales cultivos del mundo – frijol, papa, garbanzo ... y de su cultivo favorito, el mijo perla. Llevamos a cabo una revisión exhaustiva de todas las publicaciones científicas asociadas a los cultivos y or-

ganizamos este conocimiento en diferentes temas a lo largo del texto de los libros. Podríamos decir que el Dr. Maiti fue de los pioneros en el uso de las bases de datos digitales de información científica. En 1993 emigré a la Universidad de las Américas, en Cholula, Puebla, sin perder contacto con el Dr. Maiti a través de la colaboración en la elaboración de libros principalmente. A principios del Siglo XXI, habiéndose jubilado de la FCB/UANL, invitamos al Dr. Maiti como profesor honorario del Departamento de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad de las Américas, donde prosiguió con proyectos interesantes como la factibilidad del establecimiento del mijo perla como cultivo en climas templado-fríos en Tlaxcala. Esta región situada a más de 2,000 msnm con de temperaturas entre templadas y frías del Valle de Puebla muestra una gran riqueza de cactáceas y agaváceas, lo que captó la curiosidad del Dr. Maiti de manera inmediata. La amenaza a su biodiversidad provocaron que su interés se volcara al diseño de técnicas de propagación de estas especies a partir de semillas, con tal éxito que lo llevó a apoyar a productores de cactáceas y su protección en sus hábitats naturales, publicando además varios artículos y manuales sobre estos procedimientos. Curioso, incansable, dedicado, ingenioso y contagioso el Dr. Maiti dejó un legado de por vida en sus estudiantes y colegas. Difícilmente te olvidaremos.

***Dr. Pedro Wesche Ebeling***

Fue a finales de los años 80 cuando conocí al Dr. R.K. Maiti, en uno de sus varios cursos de Maestría. Mis compañeros, que en ese entonces ya habían llevado cursos con él, me advirtieron.... -María Luisa, él no habla muy bien el Español todavía, así que mucha paciencia y atención...-. Sabiendo esto, me acomodé al frente del, para mí añorado, laboratorio de Botánica donde tomábamos clases. Después de algunas sesiones, cierto día él se me quedó viendo y me preguntó -¿problemas con el Español?- Y le respondí - no doctor,



**Cumpleaños 88 del Dr. Maiti**

le entiendo perfectamente- (obviamente yo bromeaba) y me dijo - nooo, el mío!!!.- y soltó una sonora carcajada. A partir de ahí, según recuerdo, ese Señorón de toda seriedad se mostró tal como fue para sus alumnos, como lo que aún hoy lo consideramos: nuestro padre científico, "obligándonos" a trabajar sin descanso, siempre muy dispuesto y además muy sensible con nuestras vidas personales. De él aprendí muchas y variadas técnicas botánicas, escribir manuscritos para publicaciones y carteles para congresos, entre otros importantes y valiosos menesteres científicos. Difícil olvidar que me prestaba su computadora para estas tareas en una época en que frecuentemente se iba la luz y yo enojada exclamaba -¡ohh no!! ¡doctor, no guardé!!- y él decía... -ayy muchachita- tocándome cariñosamente la cabeza y continuaba -cada 5 minutos guarde ..... F5- y se salía de la oficina; al regresar decía -¡F5... F5!-. Dr. R.K. Maití, papá Maití (QEPD): muchísimas gracias por sus enseñanzas, su paciencia y sus "regaños". Siempre en mi corazón y mi memoria con un simple..... F5.

***Dra. Ma Luisa Cárdenas Ávila***

## LOS ACEITES ESENCIALES Y SU IMPORTANCIA

Nancy N. Espinosa Carranza\*, Alejandra Rocha Estrada

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas  
\*nancy.espinosah@gmail.com

### Introducción

Las plantas, además de producir y contener elementos nutricionales de vital importancia para el ser humano, presentan la capacidad de fabricar compuestos llamados fitoquímicos (de la palabra griega fito, que significa planta), los cuales son mensajeros que las plantas utilizan para interactuar con su entorno, permiten alejar las enfermedades y los parásitos, tienen un papel protector frente a los rayos del sol y participan en la reproducción, y dispersión de las especies vegetales que permiten atraer a los insectos polinizadores. Se ha sugerido que la acumulación de los aceites esenciales puede tener como finalidad aportar una reserva energética en el caso de falta de azúcares o almidón en el interior de los tejidos. Además, proporcionan color, sabor y aroma, este último es una propiedad dada principalmente por los aceites esenciales, el aroma de cualquier planta o especia es el resultado de un conjunto de principios activos y a partir del extracto se pueden individualizar cada uno de sus componentes, de los cuales algunos son más importantes y predominantes. Así, por ejemplo, la vainilla es el principal componente del aroma de la vainilla, que es diferente al de la vainilla sintética debido a la presencia de pequeñas cantidades de otros principios que no se pueden producir mediante síntesis (Simonetti, 1990). Los aceites esenciales se encuentran en células especializadas llamadas glándulas, conductos, sacos, o simplemente reservorios dentro del vegetal y que finalmente son las que proporcionan el aroma característico a cada espécimen (Esau, 1985; Linde et al., 2016).

Los aceites esenciales son mezclas complejas de hidrocarburos, terpenos, alcoholes, compuestos carbonílicos, aldehídos aromáticos y fenoles que se encuentran en hojas, cáscaras o semillas de algunas plantas. Econó-

micamente, son productos naturales de gran importancia para la industria cosmética, farmacéutica y de alimentos. Se conocen aproximadamente 3,000 diferentes y cerca de 300 son usados comercialmente en el mercado de aromas y fragancias. Los aceites esenciales están conformados por compuestos de bajo peso molecular que en su mayoría son insolubles en agua; esta característica y su volatilidad, es la base para su extracción (Piña-Barrera, 2019).

### Uso de los aceites esenciales

Los aceites esenciales han sido utilizados durante mucho tiempo en diferentes áreas como la perfumería, cosmética, alimentaria y farmacéutica, debido a su fácil disponibilidad y a que presentan una adecuada capacidad de biodegradarse. Algunos de los aceites esenciales más utilizados son la lavanda, marjorera y melisa (Boschi et al., 2011). La especie de *Cananga odorata* (Annonaceae) conocida como flor de cananga, árbol oriundo de India, Java y Filipinas (Fujiwara e Ito, 2015), se obtiene un aceite que se usa en la industria de las fragancias y también ha sido aprobado como seguro por la Asociación de Fabricantes de Sabores y Extractos (Tan et al., 2015). La lavanda, perteneciente al género *Lavanda*, que incluye a *L. angustifolia* y *L. latifolia* (*L. officinalis*), la esencia de esta planta contiene linalol, acetato de linalina, geraniol, pineno, limoneno, cineol, alcanfor y otros principios que son responsables de distintos sabores (Simonetti, 1990; Lesage Meessen et al., 2015 en Tanu y Harprett, 2016) y estos aceites de lavanda se emplean como corrector del olor y aromatizante (Simonetti, 1990). El albahacar (*Ocimum basilicum*, Lamiaceae) tiene actividad antioxidante, antibacteriana y antimicótica, propiedades antisépticas, antiinflamatorias y antiespasmódicas (Sánchez Govín et al., 2000; Silva et al., 2015; Charles, 2012 en Reyes Araujo,

2018); el comino negro o neguilla (*Nigella sativa*) exhibe varios caracteres antifúngicos, antibacterianos y antioxidantes (Simonetti, 1990; Hassanien et al., 2015).

**Cosméticos.** El uso de aceites esenciales en la industria de cosméticos, jabones, detergentes y perfumes es de gran interés desde un punto de vista económico. La producción mundial de aceites esenciales para la preparación de perfumes ha aumentado claramente, con grupos específicos de plantas aromáticas muy buscadas en el mercado (Tabla 1). La salvia, lavanda y tomillo son especialmente apreciados por la obtención de perfumes finos y novedosos. Para este fin, la tecnología de producción y una selección adecuada de la materia prima son elementos esenciales para mejorar la calidad del producto final (Preedy, 2016). Las esencias aromáticas se obtienen básicamente de plantas espontáneas o cultivadas, y su adecuada combinación origina grandes perfumes que pueden producir agradables sensaciones. En relación con su efecto se distinguen diversos grupos de perfumes, es decir aromas, entre los que se mencionan, a) aromas extractivos de carácter herbáceo, débil y no persistente, b) aromas oleosos fugaces, del tipo jazmín, solubles en aceite, c) aromas oleosos volátiles, tipo espliego, solubles en alcohol, d) aromas ácidos, tipo vainilla y benzoína y e) aromas hidrosulfurosos, tipo cebolla (Simonetti, 1990).

**Medicina.** Los aceites esenciales se usan en farmacia por su potencial como agentes medicinales. Este es especialmente el caso de los aceites de eucalipto (*E. glo-*

*bulus*), menta (*Mentha x piperita*), anís (*P. anisum*), salvia (*Salvia officinalis*), clavo (*S. aromaticum*) y árbol de té (*Melaleuca alternifolia*). Estos aceites se usan como expectorantes para tratar la tos y la bronquitis (eucalipto), como agentes antimicrobianos (salvia, árbol de té y clavo), como descongestionantes del tracto respiratorio (menta) y como carminativo (anís), entre otros usos. Además, el aceite de clavo se usa en odontología por sus propiedades antisépticas y analgésicas (Simonetti, 1990), mientras que el aceite de árbol de té en dermatología como agente antiacné debido a su actividad antimicrobiana contra las bacterias Gram-positivas (Preedy, 2016).

**Alimentos.** Los aceites esenciales se utilizan en una amplia variedad de bienes de consumo, como productos alimenticios de confitería, refrescos y bebidas alcohólicas destiladas. Además de su uso generalizado como material aromatizante, se usan en los campos nutricionales y agrícolas por sus propiedades antibacterianas, antifúngicas, antivirales, nematocidas, insecticidas y antioxidantes (Preedy, 2016; Reyes Araujo, 2018). Por ejemplo, los aceites contenidos en las flores de lavanda enriquecen el sabor de la carne, mermeladas y té (Simonetti, 1990).

#### Técnicas para la obtención de los aceites esenciales

Existen diversas técnicas para obtener los aceites esenciales de los vegetales, varían según la parte de la planta que se trata, su fragilidad y sus características botánicas (Figura 1). La elección de una técnica de extrac-

**Tabla 1. Aceites esenciales (Ae) más usados en perfumería y la planta de la cual se extraen**

Ae	Planta	Ae	Planta
Anís	Eneldo, coriandro, hinojo	Almendra amargas	Laurel
Alcanfor	Romero	Menta	Albahaca, menta, ajedrea
Cinamomo	Canela, nuez moscada	Rosa	Geranio, rosas
Cítrico	Naranja, bergamota, limón	Sándalo	Cedro
Flor de naranja	Hojas de naranja, acacia	Tuberos	Jacinto, lila
Afrutado	Fresas, miel, pera	Vainilla	Estoraque
Clavo	Clavo de especia, cariofilada	Salvia	Salvia
Jazmín	Jazmín, concavalaria	Lavanda	Lavanda
Enebro	Enebro	Violeta	Lirio
Espliego	Mejorana, tomillo		



Figura 1. Aceites esenciales obtenidos de varias especies de plantas (PromoFarma, 2019).

ción depende de las cantidades requeridas de aceite esencial, la complejidad del proceso y la pureza deseada del mismo.

### Destilación por vapor de agua

La destilación por vapor de agua, o arrastre por vapor de agua, es la técnica más habitual para obtener aceites esenciales (Figura 2). Es la única técnica autorizada por la Farmacopea Europea, junto con el prensado en frío. La destilación por arrastre con vapor, consiste en una vaporización a temperaturas inferiores a las de ebullición de cada uno de los componentes volátiles por efecto de una corriente directa de vapor de agua, el cual ejerce la doble función de calentar la mezcla hasta su punto de ebullición y adicionar tensión de vapor a la de los componentes volátiles del aceite esencial; los vapores que salen de la cámara extractora se enfrían en un condensador donde regresan a la fase líquida, los dos productos inmiscibles, agua y aceite

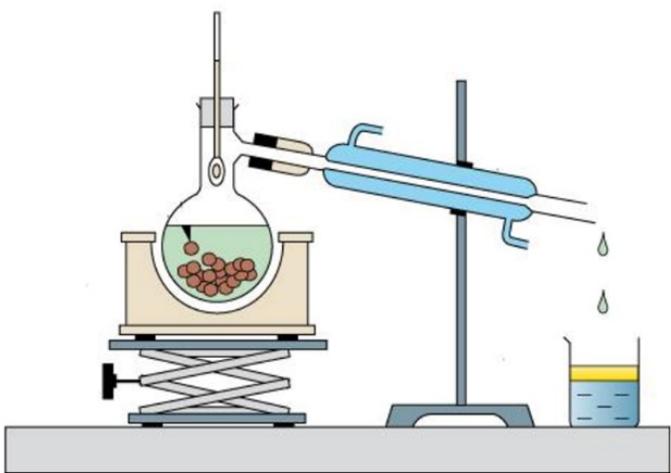


Figura 2. Destilación por vapor de agua (Rassem et al., 2016)

finalmente se separan en un dispositivo decantador o vaso florentino. Esta técnica es muy utilizada a nivel industrial debido a su alto rendimiento, a la pureza del aceite obtenido y porque no requiere tecnología sofisticada (Muthumperuma et al., 2016).

### Prensado en frío

La técnica de prensado en frío se reserva para las cáscaras de los cítricos (limón, lima, naranja dulce, naranja amarga). El aceite esencial de los cítricos se encuentra en pequeñas bolsas situadas bajo la piel del fruto (pericarpio). Para llevar a cabo esta técnica se utilizan prensas hidráulicas. En este proceso, la capa externa de las plantas que contiene el aceite se eliminan mediante raspado (Figura 3). Luego se presiona la planta para exprimir el material de la pulpa y liberar el aceite esencial de los sacos. El aceite esencial sube a la superficie del material y se separa del material por centrifugación (Rassem et al., 2016).

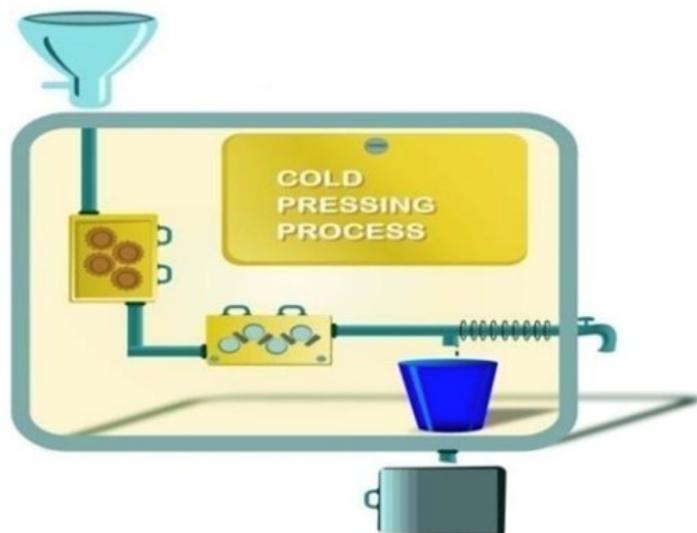


Figura 3. Prensado en frío (Rassem et al., 2016)

### Extracción mediante fluidos supercríticos

El método de extracción utilizando fluidos supercríticos (FSC) es una de las alternativas más recientes. Un FSC es una sustancia que se encuentra bajo condiciones operativas de presión y temperatura superiores a las de su punto crítico, presentando propiedades intermedias entre un gas y un líquido (densidad elevada, baja viscosidad y coeficiente de difusión superior al del líquido). Estas características favorecen su penetración en diferentes matrices para la solubilización de los solutos. El

material vegetal cortado en trozos pequeños se empaqueta en una cámara de acero inoxidable y se hace circular a través de la muestra un FSC (bióxido de carbono líquido). De esta forma, los compuestos volátiles son solubilizados y arrastrados (Figura 4).

Este método actúa como componente extractor, se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar presión y temperatura ambiente. Las principales ventajas de este método son su alto rendimiento y la pureza del aceite esencial obtenido; además, está catalogado como un proceso amigable con el ambiente. Sin embargo, la mayor desventaja que presenta es que el equipo requerido es costoso y complejo (Piña-Barrera, 2019).

## Conclusión

El interés científico acerca de los aceites esenciales es importante, ya que representan un grupo distintivo de posibles nuevos compuestos, tanto farmacológicos como conservadores de alimentos, entre otros que, debido a su variación química y estructural que los hace funcionalmente versátiles.

## Referencias

Boschi F., M. Fontanella, L. Calderan and A. Sbarbati. 2011. Luminescence and fluorescence of essential oils. Fluorescence imaging in vivo of wild chamomile oil. *European Journal of Histochemistry* 55:97-100

Esau K. 1985. Anatomía vegetal. Ediciones Omega, Barcelona, España. 779

Fujiwara Y. and M. Ito. 2015. Synergistic effect of fragrant herbs in Japanese scent sachets. *Planta medica* 81(3):193-199.

Hassanien M.F., A.M. Assiri, A.M. Alzohairy and H.F. Oraby. 2015. Health-promoting value and food applications of black cumin essential oil: an overview. *J. Food Sci Technol* 52(10):6136-6142.

Linde G.A., N.B. Colauto, E. Albertó and Z.C. Gazim. 2016. Quimiotipos, extracción, composición y aplicaciones del aceite esencial de *Lippia alba*. *Rev. Bras. Pl. Med. Campinas* 18(1):191-200.

Muthumperuma C., N. Stalin, K. Das and P. Sudhakar Swamy. 2016. Chemical profiling of leaf essential oil, antioxidant potential and antibacterial activity of *Syzygium lanceolatum* (Lam.) Wt. & Arn. (Myrtaceae). *Free Radicals and Antioxidants* 6(1):13-22.

Piña-Barrera A.M. 2019. Desarrollo de nanoingredientes funcionales a base de productos naturales para preservar productos hortofrutícolas. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León.

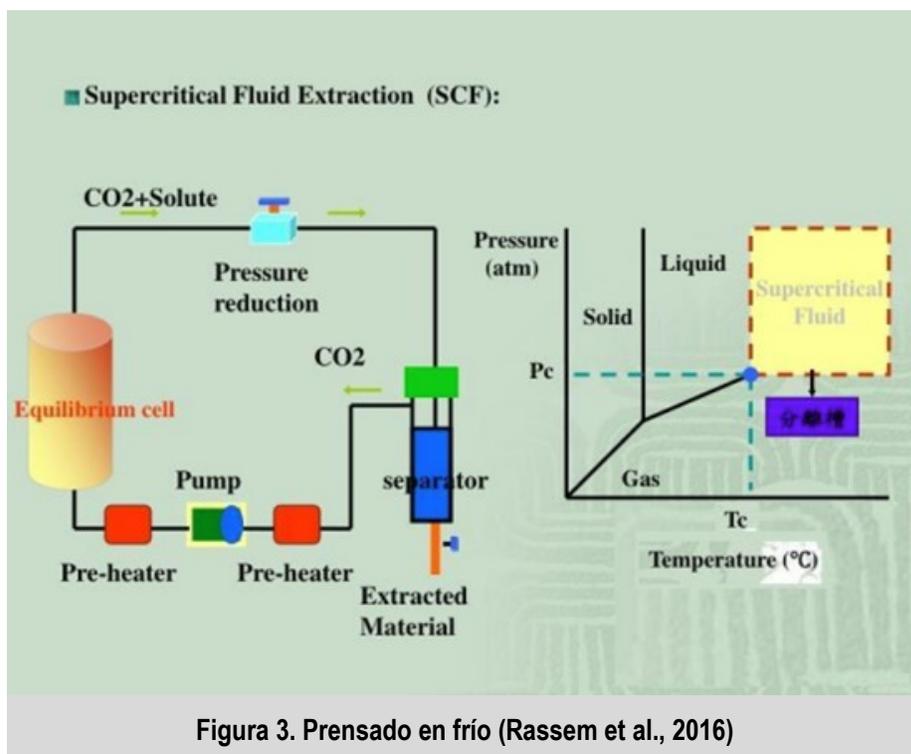


Figura 3. Prensado en frío (Rassem et al., 2016)

Preedy V. 2016. Essential oils in food preservation, flavor and safety. Academic Press, Londres. 930.

PromoFarma. 2019. Aceites esenciales. Disponible en: <https://www.promofarma.com/blog/herbolario-y-fitoterapia/que-diferencia-hay-entre-los-aceites-esenciales-y-los-vegetales/>

Rassem H.A., A.H. Nour and R.M. Yunus. 2016 Techniques for extraction of essential oils from plants: a review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 10(16):117-127.

Reyes Araujo D.Y. 2018. Actividad antioxidante y productividad en *Ocimum basilicum* L. y *Solanum tuberosum* L. acondicionadas con vermicomposta. Tesis de maestría. Centro Universitario Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México. 70.

Sánchez Govín E., I.M. Leal López, L. Fuentes Hernández y C.A. Rodríguez Ferrada. 2000. Estudio farmacognóstico de *Ocimum basilicum* L. (albahaca blanca). *Revista Cubana de Farmacia*. 34(3):187-195.

Silva V.A., J.P. Da Sausa., HLF Pesson, A.F.R. De Frietas, H.D.M. Counthino, L.B.N. Alves and E.O. Lima. 2015. *Ocimum basilicum*: Antibacterial activity and association study with antibiotics against bacteria of clinical importance. *Pharmaceutical Biology* 54(5):863-867.

Simonetti G. 1990. Guía de hierbas y especias. Ediciones Grijalbo, Barcelona. 255

Tan L.T.H., L.H. Lee, W.F. Yin, C.K. Chan, H.A. Kadir, K.G. Chan and B.H. Goh. 2015. Traditional uses, phytochemistry and bioactivities of *Cananga odorata* (Ylang-Ylang). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. Volume 2015 |Article ID 896314 |<https://doi.org/10.1155/2015/896314>

Tanu B. and K. Harpreet. 2016. Benefits of essential oil. *J. Chem. Pharm. Res* 8(6):143-149

## DISEÑO DE UNA VACUNA CONTRA EL VIRUS ÉBOLA PARA SU EXPRESIÓN EN TOMATE. UN ENFOQUE BIOINFORMÁTICO

J.M. Martínez-Villalobos<sup>a</sup>, M.A. Guzmán-Lucio<sup>a</sup>, J.M. Viader-Salvadó<sup>a</sup>, M. Guerrero-Olazarán<sup>a</sup>, L.J. Galán-Wong<sup>a</sup> y J.A. Gallegos-López<sup>a\*</sup>

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

### Summary

Ebola virus is a pathogen that infects humans with a mortality rate of between 50 and 90%. Currently, there is no definitive vaccine against the virus. Through bioinformatics, it is possible to predict epitopes quickly and rationally. Also, plants offer advantages to produce recombinant vaccines. The objective of this study was to design a vaccine against the Ebola virus in silico, to be expressed in the tomato plant. The sequence of the VP40 protein of the Ebola virus was obtained from Uniprot. It was analyzed with immunoinformatics tools to identify epitopes. The nucleotide sequence encoding the identified epitope was optimized to be expressed in the tomato plant. The optimized nucleotide sequence was cloned into plasmid pBI121 from *Agrobacterium tumefaciens*. The PIWLPLGVAADQKTYSFDST epitope vaccine candidate was identified in the VP40 protein of the Ebola virus. The optimized nucleotide sequence with preferential codons of the tomato plant encoding the identified epitope was obtained.

**Keywords:** In silico, Vaccine, Virus, Epitope.

### Resumen

El virus del Ébola es un patógeno que infecta a humanos con una tasa de mortalidad de entre 50 y 90%. Actualmente, no existe vacuna definitiva contra el

virus. Mediante bioinformática, es posible predecir epítomos de manera rápida y racional. Además, las plantas ofrecen ventajas para producir vacunas recombinantes. El objetivo de este estudio fue diseñar in silico una vacuna contra el virus Ébola, para ser expresada en la planta de tomate. La secuencia de la proteína VP40 del virus Ébola se obtuvo de Uniprot. Se analizó con herramientas inmunoinformáticas para identificar epítomos. La secuencia nucleotídica que codifica para el epítomo identificado se optimizó para expresarse en la planta de tomate. La secuencia nucleotídica optimizada se clonó en el plásmido pBI121 de *Agrobacterium tumefaciens*. Se identificó el epítomo PIWLPLGVAADQKTYSFDST candidato a vacuna en la proteína VP40 del virus Ébola. Se obtuvo la secuencia nucleotídica optimizada con codones preferenciales de la planta de tomate que codifica para el epítomo identificado.

**Palabras clave:** In silico, Vacuna, Virus, Epítomo.

### Introducción

El virus del Ébola pertenece a la familia Filoviridae, es uno de los patógenos con mayor virulencia con capacidad de infectar a primates y humanos. En 2014 se convirtió en una crisis de salud internacional. El cuadro clínico por la infección de este virus incluye fiebre, diarrea, vómito, sangrado y fre-

cuentamente la muerte. Posee una tasa de mortalidad de entre 50 y 90%. Actualmente, no se cuenta con una vacuna definitiva ni tratamiento específico contra el virus del Ébola, solo procedimientos que mitiguen la sintomatología<sup>1</sup>. Por tal motivo es urgente el desarrollo de una vacuna contra dicho virus.

Los epítomos son de particular interés, ya que tienen un gran potencial para el diseño de vacunas, prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades<sup>2</sup>.

Mediante bioinformática, es posible predecir epítomos contra microorganismos patógenos de una manera más rápida, barata y racional<sup>3</sup>. Así mismo, para los países en vías de desarrollo, las plantas representan una opción más accesible para la producción de 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 mamíferos<sup>4-5</sup>.

En este estudio se diseñó, mediante herramientas bioinformáticas, una vacuna contra la proteína VP40 del virus Ébola, para ser expresada en *Solanum lycopersicum*, la planta de tomate.

## Material y Métodos

Obtención de la secuencia aminoacídica de la proteína VP40

Se seleccionó la proteína VP40 del virus del ébola con base en la información de la página ViralZone. Posteriormente la secuencia aminoacídica de dicha proteína se obtuvo de la base de datos de Uniprot (No. de acceso: Q05128).

Análisis inmunoinformático

Esta secuencia aminoacídica se analizó con herra-

mientas del Immune Epitope Database and Analysis Resources (IEDB) <http://tools.iedb.org/bcell/>, para identificar péptidos que fueran inmunogénicos, anti-génicos, hidrofílicos, accesibles, que se encontraran en regiones flexibles y en giros  $\beta$ . Los péptidos que reunieron todas estas características al mismo tiempo fueron considerados vacunas (epítomos).

Verificación de la accesibilidad del epítomo identificado

Se obtuvo la estructura tridimensional de la proteína VP40 del virus Ébola del Protein Data Bank (código PDB: 4LDB), se visualizó con el programa Swiss-PDB Viewer y se verificó la accesibilidad del epítomo identificado en la superficie de la proteína.

Optimización de la secuencia nucleotídica

El epítomo identificado se tradujo inversamente en secuencia nucleotídica y al extremo 5' se agregó el sitio de restricción BamHI, el sitio de unión a ribosoma (secuencia Kozak) y el codón de inicio. Además, en el extremo 3' de la secuencia se agregó la secuencia que codifica para el péptido señal del retículo endoplásmico, llamado SEKDEL, el codón de paro y el sitio de restricción SacI. La secuencia nucleotídica obtenida se optimizó con base en el uso de codones preferenciales de la planta de tomate. 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

Análisis inmunoinformático

Las herramientas de predicción de epítomos de células B del IEDB identificaron el epítomo PIWLPLGVAD-QKTYSFDST en la proteína VP40 del virus del Ébola como inmunogénico, antigénico, hidrofílico, accesible, encontrándose en una región flexible y en un

giro  $\beta$ . Este epítipo resultó ser accesible según los análisis del programa Emini Surface Accessibility Precision (Figura 1) y el programa Swiss-Pdb Viewer (Figura 2). Así mismo, resultó ser hidrofílico según la herramienta Parker Hydrophilicity Prediction (Figura 1). Lo que indica que el epítipo se encuentra accesible en la superficie de la proteína a los anticuerpos. Esta característica es importante en el diseño de vacunas, ya que la unión antígeno-anticuerpo permite desencadenar una respuesta inmunológica<sup>6</sup>. Adicionalmente, el epítipo resultó ser inmunogénico (Figura 1), lo cual permitirá estimular la producción de anticuerpos<sup>6</sup>.

Optimización de la secuencia nucleotídica

Además, se obtuvo una secuencia nucleotídica optimizada con codones preferenciales del tomate, con una longitud de 99 pares de bases, y un porcentaje de G+C y A+T del 39% y 61%, respectivamente. Además, se añadió la secuencia Kozak en el extremo 5' antes del codón de inicio y la secuencia SEKDEL en el extremo 3' antes del codón de paro (Figura 3), lo que permitirá obtener altos niveles de expresión de la proteína recombinante, tal como se ha sugerido en otro estudio<sup>7</sup>. La nueva construcción llamada pPBI121-evp40, mostro un tamaño de 14, 857 pb.

Múltiples estudios han confirmado la viabilidad de *S. lycopersicum* co-

## 93-PIWLPLGVADQKTYSFDST-111

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

Figura 1. Epítipo sugerido por las herramientas del IEDB y los umbrales utilizados en cada análisis.

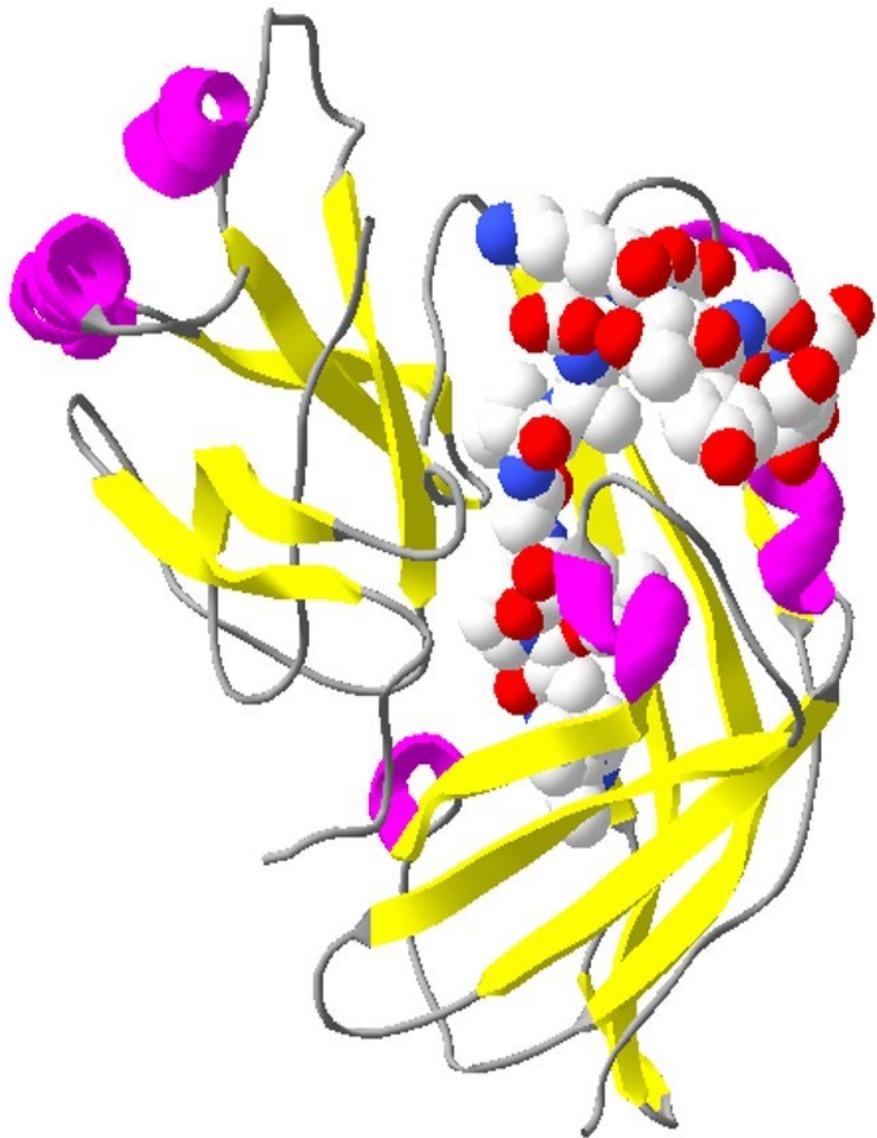


Figura 2. Estructura tridimensional de la proteína VP40 del virus Ébola en formato de listón y el epítipo identificado.



## APLICACIONES TERAPÉUTICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE *Ananas comosus* (L.) Merr. (PIÑA). UN ESTUDIO DE REVISIÓN

M.L. Cantú-Perches<sup>1</sup>, M. Hernández-Salazar<sup>2</sup>, I.G. Medina-Lozano<sup>1</sup>, A.Z. Martínez-Báez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Salud Pública y Nutrición, Laboratorio Química de los Alimentos

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Salud Pública y Nutrición, Centro de Investigación en Nutrición y Salud Pública, Laboratorio de Fitoterapia

\*adbel.martinez@hotmail.com

### Resumen

**Introducción:** En este artículo se ofrece una revisión de la composición química y aplicaciones biológicas de *Ananas comosus* (piña) las cuales se han descrito en diferentes estudios *in vivo* e *in vitro* donde se ha demostrado que la bromelina, principal compuesto funcional de *Ananas comosus*, participa en estas aplicaciones. **Objetivo:** Búsqueda científica relacionada con las aplicaciones terapéuticas de *Ananas comosus* como una alternativa en la terapia nutricional funcional. **Material y Métodos:** Estudio con diseño de revisión descriptiva y analítica, la búsqueda se realizó en tres bases de datos de revistas científicas electrónicas. Se incluyeron ensayos clínicos, artículos de revisión y artículos originales. **Resultados:** Se encontraron y seleccionaron artículos enfocados en la composición química de la piña y su actividad biológica. **Conclusiones:** Conforme a los artículos revisados se evidencia que nutricionalmente la piña puede ser considerada como un alimento funcional por el contenido de bromelina, la cual con la dosis adecuada presenta resultados positivos a la salud.

**Palabras claves:** *Ananas comosus*, bromelina, aplicación terapéutica.

### Abstract

**Introduction:** This article offers a review of the chemical composition and biological applications of *Ananas comosus* (pineapple), which have been described in different *in vivo* and *in vitro* studies where it has been shown that bromelain, the main functional compound of *Ananas comosus*, participate in these applications. **Objective:** To identify the therapeutic applications of *Ananas comosus* as an alternative in functional nutritional therapy.

**Material and Methods:** Study with design of descriptive and analytical review, the search was carried out in three databases of electronic scientific journals. clinical trials, review articles and original articles were included. **Results:** Articles focused on the chemical composition of the pineapple and its biological activity were found and selected. **Conclusions:** According to the reviewed articles it is demonstrated that nutritionally the pineapple can be considered as a functional food because of the content of bromelain, which with the adequate dose presents positive results to health.

**Key words:** *Ananas comosus*, bromelain, therapeutic implication.

### Introducción

**A** *Ananas comosus* (piña) es la planta más conocida de las 3000 especies agrupadas en 56 géneros de la familia Bromeliaceae. Es la única de esta familia que es cultivada para alimento humano (Suárez y Serrano, 2005; Garcidueñas, 2013; CFEP, 2002). Es originaria entre las zonas de Brasil, el norte de Argentina y Paraguay en los bordes meridionales del Amazonas, y es domesticada en la parte central de este continente (Suárez y Serrano, 2005; Garcidueñas, 2013; Crane, 2016; Coppens, 2011). A finales del siglo XVIII era utilizada para promover el apetito, y problemas estomacales, detener los vómitos, para dolores nefríticos, supresiones de orina y del menstruado y utilizada para arrojar lombrices (CFEP, 2002).

México se reportó como el noveno lugar de producción a nivel mundial, en el periodo de 2006-2012 (Sánchez et al., 2015). En el año 2013, de acuerdo con información del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), los estados que aportaron más del 90% de la producción nacional de *A. comosus* fueron Ver., Oax. y Tabasco (Garcidueñas, 2012; Sánchez et al., 2015; CFEP, 2002).

El cultivo y distribución en México, la composición química y antecedentes terapéuticos de la especie en estudio, motivaron a que el presente trabajo muestre el resultado de la búsqueda de evidencia científica relacionada con las aplicaciones terapéuticas de *A. comosus* como una alternativa más en la terapia nutricional funcional.

### Material y Métodos

El presente estudio es de tipo descriptivo y analítico, se realizó mediante la revisión de artículos científicos en los que se tuviera referencia sobre la piña y su composición química, así como las aplicaciones terapéuticas de la bromelina contenida en *A. comosus*. La fase de búsqueda se centró en artículos localizados en las bases de datos PubMed, Google Académico y Scopus mediante el uso de descriptores "pineapple therapy", "bromelain of pineapple therapy", "*Ananas comosus* therapy", "composición química de la piña" y "pineapple". La selección de artículos utilizados se realizó según los siguientes criterios: 1. Estudios indexados y publicados en los últimos diez años o más, si su relevancia era fundamental. 2. Artículos publicados en español o inglés. 3. Artículos relacionados al tema de interés. Se incluyeron ensayos clínicos, artículos de revisión y artículos originales. Se descartaron los estudios que no cumplían con los criterios.

### Composición química

*A. comosus* está compuesta por un 81 a 86% de agua por lo que su valor calórico es bajo, quedando

el 13 al 19% de sólidos totales (Sánchez et al., 2015; Hernández, 2003; Hossain et al., 2015; Garzón, 2016), entre los cuales se encuentran disacáridos como la sacarosa y monosacáridos como la glucosa y fructosa (Hossain et al., 2015), en conjunto los carbohidratos representan hasta el 85% de los sólidos totales y la fibra del 2 al 3% (Sánchez et al., 2015; Hossain et al., 2015). Contiene glicina (32.2%), serina (32%) y ácido aspártico (29.8%) en niveles altos, mientras que histidina (1.3%), metionina (5.8%) y fenilalanina (8%) están presentes en niveles más bajos (López et al., 1996; Provital Group, 2009). En cuanto a minerales destacan el yodo, potasio, magnesio, cobre, manganeso y calcio (Hossain et al., 2015; Garzón, 2016). Las vitaminas más abundantes son la vitamina A y C (Hossain et al., 2015) y en menor cantidad la tiamina (B1) y la piridoxina (B6) (Hernández, 2003; Hossain et al., 2015).

La pulpa se caracteriza por la presencia de bajas cantidades de cenizas, compuestos nitrogenados y lípidos (0.1%). Del 25 al 30% de los compuestos nitrogenados corresponden a la proteína, de la cual el 80% tiene actividad enzimática proteolítica, y es conocida como bromelina compuesta de peroxidasa, fosfatasa ácida, varios inhibidores de las proteasas y calcio orgánicamente unido y es similar a las proteasas que participan en la digestión la cual se encuentran en cantidades mínimas en las partes comestibles de la fruta, mientras que la mayor parte de la bromelina se encuentra en el tallo (Hernández, 2003; Hossain et al., 2015) (Tabla 1).

Los componentes no nutritivos de *Ananas comosus* son los más significativos desde el punto de vista dietético. De los ácidos orgánicos, el ácido cítrico es el más abundante, con cantidades que varían entre 0.4 a 1.2% (Hernández, 2003; Hossain et al., 2015), conteniendo también ácido málico, fólico y oxálico (Hernández, 2003; Garzón, 2016). La clorofila y los carotenoides son los principales pigmentos (Provital Group, 2009). Los principales compuestos polifenólicos

<b>Tabla 1. Composición química de la piña (<i>Ananas comosus</i>)</b>			
<i>* Por 100 g de porción comestible</i>			
Energía (Kcal)	50	Tiamina (Vit B <sub>1</sub> ) (mg)	0.07
Proteínas (g)	0.5	Riboflavina (Vit B <sub>2</sub> ) (mg)	0.02
Lípidos totales (g)	0.11	Equivalentes niacina (Vit B <sub>3</sub> ) (mg)	0.3
AG saturadas (g)	-	Ácido pantoténico (Vit B <sub>5</sub> ) (mg)	0.11
AG monoinsaturados (g)	-	Vitamina B <sub>6</sub> (mg)	0.09
AG poliinsaturados (g)	-	Folatos (Vit B <sub>9</sub> ) (µg)	11
ω-3 (g)	-	Vitamina B <sub>12</sub> (µg)	0
C18:2 Linoleico(ω-6) (g)	-	Vitamina A: Eq. Retinol (µg)	13
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	Vitamina C (mg)	20
Hidratos de carbono (g)	11.5	Vitamina D (µg)	0
Azúcar (g)	9.26	Vitamina E (mg)	0.1
Sacarosa (g)	4.51	B-caroteno (µg)	35
Glucosa (g)	2.60	Calcio (mg)	12
Fructosa (g)	2.59	Hierro (mg)	0,5
Fibra (g)	1.2	Yodo (µg)	30
Cenizas (g)	0.20	Magnesio (mg)	14
Agua (g)	86.8	Zinc (mg)	0.15
		Sodio (mg)	2
		Potasio (mg)	250
		Fósforo (mg)	11
		Selenio (µg)	Tr

Fuente: Tablas de composición de Alimentos. Moreiras y col., 2013. (PIÑA). Ingestas Dietéticas de Referencia (EFSA, 2010). Tablas de composición de alimentos de Centroamérica, 2007. Análisis de perfil de azúcares USDA National Nutrient data base. (Hossain et al., 2011; Garzón, 2016; Chandler y Mynott, 1998; Mynott et al., 1996; Sah et al., 2016; Barth et al., 2005).

licos existentes en la cáscara son catequina (58.51 mg / 100 g de extractos secos), epicatequina (50.00 mg / 100 g), ácido gálico (31.76 mg / 100 g) y ácido ferúlico (19.50 mg / 100 g) (Pereira et al., 2013; Yuris, 2014; Sah et al., 2016).

#### *Bromelina*

La presencia de bromelina en *A. comosus* (piña) fue detectada por primera vez en 1891 (López et al., 1996) y en 1957 se introdujo como compuesto tera-

péutico, investigada para el tratamiento de diferentes enfermedades (Zala, 2012; Pavan et al., 2012). La actividad de la bromelina depende en gran medida su origen y de sus propiedades bioquímicas y farmacológicas (Arumgam y Ponnusami, 2013; Pavan et al., 2012).

La bromelina ha demostrado beneficios terapéuticos en bioensayos y estudios clínicos con dosis pe-

queñas de hasta 160 mg/día. Las dosificaciones diarias típicas oscilan entre 200-2000 mg/día (Roxas, 2008); sin embargo, se cree que, para la mayoría de las condiciones, los mejores resultados se obtienen con dosis de 750-1000 mg/día (Calogero et al., 2017). El cuerpo puede absorber una cantidad significativa de bromelina, se pueden consumir aproximadamente 12 g/día de bromelina sin ningún efecto secundario importante. La bromelina se absorbe desde el tracto gastrointestinal en una forma funcionalmente intacta; aproximadamente el 40% de la bromelina marcada se absorbe del intestino en forma molecular alta (SAGARPA, 2005; Kelly, 1996). (Tabla 2).

### **Aplicaciones Terapéuticas**

#### *Actividad Antiinflamatoria*

La bromelina derivada de *A. comosus* se ha propuesto como un tratamiento para reducir el dolor y la inflamación después de lesiones musculares agudas (Aiyegbusi et al., 2011; Rathnavelu et al., 2016), disminuyendo la producción de citocinas proinflamatorias y la migración de leucocitos a los sitios de inflamación (Hale et al., 2010; Fitzhugh et al., 2008; Verma et al., 2017). La utilización del tallo es capaz de acelerar el proceso de curación de heridas al aumentar la proliferación celular, suprimir la inflamación y acelerar la remodelación tisular (Rahayu et al., 2017; Taussig y Batkin, 1988).

Hale *et al.* demostraron por medio de un estudio donde ratones experimentales consumieron jugo de *A. comosus* (piña) fresco o bromelina purificada del tallo durante 6 meses presentaron una disminución de inflamación de colon y una menor incidencia de neoplasia colónica asociada a la inflamación (Hale et al., 2005a y 2010b; Fitzhugh et al., 2008; Onken et al., 2008; Kane y Goldberg, 2000). El jugo fresco *in vitro* demostró la eliminación proteolítica de moléculas de la superficie celular que pueden afectar la activación de leucocitos (Hale et al., 2010; Fitzhugh et al., 2008), incluyendo CD128a / CXCR1 y

CD128b / CXCR2 (Fitzhugh et al., 2008; Hale et al., 2002, 2005).

Los efectos del extracto acuoso de diferentes partes de *A. comosus* para determinar el efecto en lesiones del tendón en ratas se administró a una dosis de 30 mg/kg durante los primeros 14 días posteriores a la lesión. Se mostró una reducción de la inflamación y del dolor, y que los extractos de la pulpa tienen el potencial de promover la cicatrización al estimular la proliferación de tenocitos y tenoblastos (Aiyegbusi et al. 2010, 2011; Rahay et al. 2017).

En un modelo de ratas con asma aguda, la bromelina disminuyó la reactividad de las vías respiratorias y la sensibilidad a los irritantes, disminuyó los marcadores de inflamación pulmonar incluyendo infiltración de eosinófilos y leucocitos (Secor et al., 2005, 2008, 2013). La bromelina redujo significativamente las células T CD4 + y CD8 sin afectar el número de células en el bazo o el ganglio linfático. La bromelina inhibió la ovoalbúmina inducida por el modelo murino de la enfermedad alérgica de las vías respiratorias, demostrando que esta reduce la sensibilidad alérgica y la generación de enfermedades de las vías respiratorias (Secor et al., 2005, 2013).

En un ensayo clínico 82 mujeres primíparas recibieron 3 tabletas de 100 mg de bromelina obtenida de *A. comosus*, 3 veces al día por 6 días sucesivos. Los resultados mostraron la efectividad de la bromelina en el dolor de episiotomía y la cicatrización de heridas y se indicó que la bromelina podría ser efectiva para reducir la hinchazón, los hematomas y el dolor postoperatorio en las mujeres que tienen episiotomía (Pavan et al., 2012; Golezar, 2016).

#### *Actividad anticancerígena*

La actividad anticancerígena de la bromelina se atribuye predominantemente a sus componentes de proteasa (Pavan et al., 2012; Maurer, 2001). Es-

tudios recientes han demostrado que la bromelina tiene la capacidad de modificar las vías clave que apoyan la malignidad. Su actividad anticancerígena se debe al impacto directo sobre las células cancerosas, así como sobre la modulación de los sistemas inmune, inflamatorio y hemostático (Chobotova et al., 2010; Pavan et al., 2012).

Estudios en ratones demuestran que la aplicación de bromelina retrasa el inicio de la tumorigénesis y reduce el número acumulado de tumores, el volumen del tumor y el número promedio de tumores por ratón (Bhatnagar et al., 2015; Pavan et al., 2012; Bhui et al., 2009; Kalra et al., 2008;); y provoca muerte celular apoptótica (Muller et al., 2016; Pavan et al., 2012; Artem et al., 2017; Bhui et al., 2009).

La bromelina tiene marcadamente actividad antitumoral *in vivo* sobre líneas celulares: leucemia P-388, sarcoma (S-37), tumor ascético Ehrlich, carcinoma de pulmón de Lewis y adenocarcinoma mamario ADC-755. En estos estudios, la administración intraperitoneal de bromelaína después de 24 horas de la inoculación de células tumorales dio como resultado la regresión del tumor (Pavan et al., 2012; Báez et al., 2007).

La bromelina ejerce también efectos en células de carcinoma mamario MCF-7 inhibiendo el crecimiento (Bhui et al., 2010; García-Solís et al., 2009) y en células de carcinoma colorrectal ejerce acciones quimiopreventivas en carcinogénesis de colon *in vivo*, reduciendo la proliferación celular y promoviendo la apoptosis (Rahayu et al., 2017; Romano et al., 2014). Paroulek *et al.* (2002), demostraron los efectos antitumorales de la bromelina contra la línea celular de cáncer de mama humano GI101A.

Resultados *in vivo* con ratones portadores de tumores mostraron que la bromelina fue eficaz para la supresión del crecimiento tumoral (Bhatnagar et al., 2016). En otro estudio *in vivo*, la bromelina redujo el desarrollo de fosas de criptas aberrantes, pólipos

y tumores inducidos por azoximetano (Romano et al., 2014).

#### *Actividad Antioxidante*

Hossain y Rahman indicaron que el grado de actividad antioxidante se debe a la presencia de compuestos como los polifenoles y el ácido ascórbico, e indicaron que de acuerdo con la cantidad de compuestos fenólicos presentes en *A. comosus* se considera mayor fuente de antioxidante (Yuris, 2014; Hossain y Rahman, 2011). Este estudio sugiere que los componentes antioxidantes de la planta de *A. comosus* se concentran en la pulpa, por su contenido de carotenoides, polifenoles y vitamina C, los cuáles son poderosos antioxidantes (Aiyegbusi et al., 2010; Pereira et al., 2013; Yuris, 2014; Chandler y Mynott, 1998; Hossain y Rahman, 2011).

Sah *et al.* evaluaron los efectos de la adición de polvo de cáscara de *A. comosus* en la viabilidad y actividad de *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus paracasei ssp. paracasei* en yogures a una temperatura de 4°C durante 28 días (Sah et al., 2015, 2016). Se mostró que el yogurt con cáscara de *A. comosus* posee actividades antioxidantes más fuertes que el grupo control (Pereira et al., 2013; Sah et al., 2015).

#### *Actividad Antirreumática*

Kargutkar y Brijesh estudiaron la actividad antirreumática del extracto crudo de cáscara de *A. comosus* con el modelo completo de artritis inducida por Freund en ratas a dosis de 50, 100, 250 y 500 mg/kg por 21 días. Se redujo significativamente la hinchazón en la pata de ratas, redujo también los niveles de superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPx) en hígado, riñón y bazo; y proteína C-reactiva (CRP) en homogeneizado tisular y suero, sugiriendo su actividad antirreumática (Kargutkar y Brijesh, 2016; Bhattacharya, 2008).

Tabla 2. Aplicaciones Terapéuticas de la piña ( <i>Ananas comosus</i> )		
ACTIVIDAD BIOLÓGICA	MODO DE ACCIÓN	REFERENCIA
Actividad Antiinflamatoria	Reducción de inflamación y dolor, reducción de producción de citocinas proinflamatorias y migración de leucocitos a sitios de inflamación, aumento de proliferación celular, aceleramiento de remodelación tisular, activación del sistema inmune asociado al estrés celular, reducción de sensibilidad alérgica	(Aiyegbusi et al., 2011; Rathnavelu et al., 2016; Hale et al., 2010, 2005; Fitzhugh et al., 2008; Verma et al., 2017); Rahayu et al., 2017; Taussig y Batkin, 1988; Barth et al., 2005; Onken et al., 2008; Secor et al., 2005, 2013.
Actividad Anticancerígena	Retraso de inicio de tumorigénesis, reducción de tumores, reducción de volumen del tumor, muerte celular apoptótica, reducción de nivel de expresión de CD44.	Bhatnagar et al., 2015; Kalra et al., 2008; Muller et al., 2016; Pavan et al., 2012; Artem et al., 2017; Bhui et al., 2009; Rathnavelu et al., 2016
Actividad Antirreumática	Reducción de inflamación y dolor, reducción de niveles de superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPx) y proteína C reactiva (CRP)	Kargutkar y Brijesh, 2016; Bhattacharya, 2008.

Fuente: construcción propia

Se han reportado estudios de bromelina para la osteoartritis. En un estudio, un mes de bromelina produjo una disminución significativa del dolor y la rigidez en pacientes con osteoartritis de rodilla. Se comparó una combinación de bromelina, tripsina y rutina con diclofenaco en 103 pacientes con osteoartritis de rodilla. Después de seis semanas, ambos tratamientos dieron como resultado reducciones significativas y similares en el dolor y la inflamación (Pavan et al., 2012; Bolten et al., 2015; Walker et al., 2002; Akhtar et al., 2004).

#### Otros efectos y actividades biológicas

La bromelina presenta actividad antihelmíntica contra *Trichuris muris*, *Heligmonosmoides polygyrus* y *Haemonchus contortus* (Rathnavelu et al., 2016; Salas et al., 2015; Ferreira et al., 2016), actividad proteolítica en estómago e intestino delgado (Roxas, 2008; Rathnavelu et al., 2016), es un agente fibrinolítico (Pavan et al., 2012; Taussig y Batkin, 1988), agente antiadherente frente a *Escherichia coli* y *Vibrio* (Rathnavelu et al., 2016; Pavan et al.,

2012; Chandler y Mynott, 1998; Mynott et al., 1996), presenta efecto cardioprotector (Pavan et al., 2012; Juhasz et al., 2008) y tiene una estrategia neuroprotectora prometedora para la prevención y el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer (Sancesario et al., 2018; Lauer et al., 2001).

#### Conclusiones

De acuerdo con los estudios revisados, el principal compuesto funcional presente en *A. comosus* es la bromelina la cual presenta diferentes aplicaciones terapéuticas. Se ha evidenciado su actividad antiinflamatoria, citotóxica, antimicrobiana, antioxidante, antirreumática y anticoagulante. Una adecuada cantidad de *A. comosus* al día favorece significativamente a la salud proporcionando efectos digestivos, cardiovasculares y neurológicos. Se ha demostrado en diversos estudios tanto en animales como en humanos que la bromelina es una sustancia terapéutica no tóxica. La piña nutricionalmente puede ser considerada como un alimento funcional.

## Referencias

- Aiyegbusi, A., Doru, F. I., Anonobi, C. C., Noronha, C. C., & Okanlawon, A. O. (2011). Bromelain in the early phase of healing in acute crush Achilles tendon injury. *Phytotherapy Research*, 49-52. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20623610>
- Aiyegbusi, A., Duru, FL, Awelimobor, D., Noronha, C., & Okanlawon, A. (2010). The role of aqueous extract of pineapple fruit parts on the healing of crush tendon injury. *Nigerian quarterly journal of hospital medicine*, 223-7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21913532>
- Akhtar, N., Naseer, R., Farooqui, A. A., & Nazir, M. (2004). Oral enzyme combination versus diclofenac in the treatment of osteoarthritis of the knee- a double-blind prospective randomized study. *Clinical Rheumatology*, 410-415. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15278753>
- Artem, J., Mendes, N., Araújo, M., Vinícius, M., Grotto, D., Gerenutti, M., . . . Faustino, A. (2017). Bacterial Nanocellulose Loaded with Bromelain: Assessment of Antimicrobial, Antioxidant and Physical-Chemical Properties. *Schientific Reports*, 1-9. <https://www.nature.com/articles/s41598-017-18271-4>
- Arumgam, A., & Ponnusami, V. (2013). Pineapple fruit bromelain recovery using recyclable functionalized ordered mesoporous silica synthesized from sugarcane leaf ash. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 477-486. [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-66322013000300006&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-66322013000300006&script=sci_abstract)
- Báez, R., Lopes, M., Salas, C., & Hernández, M. (2007). In vivo antitumoral activity of stem pineapple (*Ananas comosus*) bromelain. *Planta médica*, 1377-83. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17893836>
- Barth, H., Guseo, A., & Klein, R. (2005). In vitro study on the immunological effect of bromelain and trypsin on mononuclear cells from humans. *European journal of medical research*, 325-331. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16131473>
- Bhatnagar, P., Bhushan Pant, A., Shukla, Y., Panda, A., & Chand, G. K. (2016). Hyaluronic acid grafted PLGA copolymer nanoparticles enhance the targeted delivery of Bromelain in Ehrlich's Ascites Carcinoma. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 176-192. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27287553>
- Bhatnagar, P., Pant, A., Shukla, Y., Chaudhari, B., Kumar, P., & Gupta, K. (2015). Bromelain nanoparticles protect against 7,12-dimethylbenzanthracene induced skin carcinogenesis in mouse model. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 35-46. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25619920>
- Bhattacharya, B. (2008). Bromelain: An overview. *Natural Product Radiance*, 359-363. <https://pdfs.semanticscholar.org/4a4d/fd1e0e0f4774aaedfa0a6a1af9408f9ec755.pdf>
- Bhui, K., Prasad, S., George, J., & Shukla, Y. (2009). Bromelain inhibits COX-2 expression by blocking the activation of MAPK regulated NF-kappa B against skin tumor-initiation triggering mitochondrial death pathway. *Cancer Letters*, 167-176. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19339108>
- Bhui, K., Tyagi, S., Prakash, B., & Shukla, Y. (2010). Pineapple bromelain induces autophagy, facilitating apoptotic response in mammary carcinoma cells. *BioFactors*, 474-482. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20848558>
- Bolten, W., Glade, M., Raum, S., & Ritz, B. (2015). The safety and efficacy of an enzyme combination in managing knee osteoarthritis pain in adults: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Arthritis*, 1-7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25802756>
- Calogero, A., Condorelli, R., Ivan Russo, G., & La Vignera, S. (2017). Conservative nonhormonal options for the treatment of male infertility: Antibiotics, Anti-Inflammatory Drugs, and Antioxidants. *BioMed Research International*, 1-17. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28164122>
- Centro de Estudios de la Finanzas Públicas (2002). Obtenido de *La problemática actual de la producción de piña en México*: <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0042002.pdf>
- Chandler, D., & Mynott, T. (1998). Bromelain protects piglets from diarrhoea caused by oral challenge with K88 positive enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Gut*, 196-202. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10189844>
- Chobotova, K., Vernallis, A. B., & Adbul, F. (2010). Bromelain's activity and potential as an anti-cancer agent: Current evidence and perspectives. *Cancer Letters*, 148-156. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19700238>
- Coppens, G., Sanewski, G., Smith, M., Duval, M.-F., & Leal, F. (2011). *Ananas*. En *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources, Tropical and Subtropical Fruits* (págs. 21-41). Montpellier, Francia: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-20447-0\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-20447-0_2)
- Crane, J. (2016). *Pineapple Growing in the Florida Home Landscape*. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/MG/MG05500.pdf>
- Ferreira, E. A., Siqueira, H. E., Vilas Boas, E. V., Stahl Hermes, V., & de Oliverira Rios, A. (2016). Bioactive compounds and antioxidant activity of pineapple fruit of different cultivars. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 1-7. [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-29452016000300801](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452016000300801)
- Fitzhugh, D., Shan, S., Dewhirst, M., & Hale, L. (2008). Bromelain treatment decreases neutrophil migration to sites of inflammation. *Clinical Immunology*, 66-74. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18482869>
- García-Solis, P., M. Yahia, E., Morales-Tlalpan, V., & Díaz-Muñoz, M. (2009). Screening of antiproliferative effect of aqueous extracts of plant foods consumed in México on the breast cancer cell line MCF-7. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 32-46. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19468947>

- Garcidueñas Paz, J. A. (Diciembre de 2013). *Caracterización morfológica y molecular de Piña Ananas comosus (L.) Híbrido MD-2 y su establecimiento in vitro*. Universidad Autónoma Chapingo. <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCA2013120210127862.pdf>
- Garzón Serrato, J. I. (2016). *Establecimiento y manejo de un cultivo de pina en la sede de la asociación de ingenieros agrónomos del Llano en villavicencio*. Universidad de los Llanos. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/001/341/1/Establecimiento%20y%20manejo%20de%20un%20cultivo%20de%20pi%C3%B1a.pdf>
- Golezar, S. (2016). *Ananas comosus* effect on perineal pain and wound healing after episiotomy: a randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, 1-6. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4884440/>
- Hale, J., Greer, P., & Sempowski, G. (2002). Bromelain treatment alters leukocyte expression of cell surface molecules involved in cellular adhesion and activation. *Clinical Immunology*, 183-190. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12165279>
- Hale, L., Chichlowski, M., Trinh, B., Chau, T., & Greer, P. (2010). Dietary Supplementation with fresh pineapple juice decreases inflammation and colonic neoplasia in IL-10-deficient mice with colitis. *Inflammatory Bowel Diseases*, 1-17. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20848493>
- Hale, L., Greer, P., Thinh, C., & Gottfried, M. (2005). Treatment with oral bromelain decreases colonic inflammation in the IL-10-deficient murine model of inflammatory bowel disease. *Clinical Immunology*, 135-142. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15936249>
- Hernández, J. M. (2003). *El cultivo de la Piña (Ananas comosus)*. Obtenido de Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1269/EL%20CULTIVO%20DE%20LA%20PI%20D1A%20\(Ananas%20comosus\)%20\(L\)%20Merr.EN%20EL%20SUR%20DE%20MEXICO.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1269/EL%20CULTIVO%20DE%20LA%20PI%20D1A%20(Ananas%20comosus)%20(L)%20Merr.EN%20EL%20SUR%20DE%20MEXICO.pdf?sequence=1)
- Hossain, A., & Rahman, M. (2011). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of tropical fruit pineapple. *Food Research International*, 672-676. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996910004801>
- Hossain, F., Akhtar, S., & Anwar, M. (2015). Nutritional Value and Medicinal Benefits of Pineapple. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 84-88. <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo.aspx?journalid=153&doi=10.11648/j.ijnfs.20150401.22>
- Juhász, B., Thirunavukkarasu, M., Pant, R., Zhan, L., Varma, S., Otani, H., & Maulik, N. (2008). Bromelain induces cardioprotection against ischemia-reperfusion injury through Akt/FOXO pathway in rat myocardium. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, H1365-H1370. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18192224>
- Kalra, N., Bhui, K., Roy, P., Srivastava, S., George, J., Prasad, S., & Yogeshwer, S. (2008). Regulation of p53, nuclear factor kB and cyclooxygenase-2 expression by bromelain through targeting mitogen-activated protein kinase pathway in mouse skin. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 30-37. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17889918>
- Kane, S., & Goldberg, M. (2000). Use of bromelain for mild ulcerative colitis. *Annals of internal medicine*, 132-138. <https://annals.org/aim/article-abstract/713417/use-bromelain-mild-ulcerative-colitis?volume=132&issue=8&page=680>
- Kargutkar, S., & Brijesh, S. (2016). Anti-rheumatic activity of *Ananas comosus* fruit peel extract in a complete Freund's adjuvant rat model. *Pharmaceutical Biology*, 2616-2622. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27181794>
- Kelly, G. N. (1996). Bromelain: A Literature Review and Discussion of its Therapeutic Applications. *Alternative Medicine Review*, 243-257. [https://www.researchgate.net/publication/237614764\\_Bromelain\\_A\\_Literature\\_Review\\_and\\_Discussion\\_of\\_its\\_Therapeutic\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/237614764_Bromelain_A_Literature_Review_and_Discussion_of_its_Therapeutic_Applications)
- Lauer, D., Reichenbach, A., & Birkenmeier, G. (2001).  $\alpha$ 2-Macroglobulin-mediated degradation of amyloid  $\beta$ 1-42: mechanism to enhance amyloid  $\beta$  catabolism. *Experimental Neurology*, 385-392. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014488600975691>
- López Lago, I., Díaz Varela, J., & Merino de Cáceres, F. (1996). La bromelina: una proteasa de interés comercial. *Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 17-22. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/11358129609487552>
- Maurer, H. (2001). Bromelain: biochemistry, pharmacology and medical use. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 1234-45. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11577981>
- Muller, A., Barat, S., Xichen, Coung Bui, K., Bozko, P., Malek, N., & Plentz, R. (2016). Comparative study of antitumor effects of bromelain and papain in human cholangiocarcinoma cell lines. *International Journal of Oncology*, 2025-2034. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26935541>
- Mynott, T., Luke, R., & Chandler, D. (1996). Oral administration of protease inhibits enterotoxigenic *Escherichia coli* receptor activity in piglet small intestine. *Gut*, 28-32. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8566855>
- Onken, J., Greer, P., Calingaert, B., & Hale, L. (2008). Bromelain treatment decreases secretion of pro-inflammatory cytokines and chemokines by colon biopsies in vitro. *Clinical immunology*, 345-352. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18160345>
- Paroulek, A., Jaffe, M., & Rathinavelu, A. (2009). The effects of the herbal enzyme bromelain against breast cancer cell line GI101A. *The FASEB Journal*, 23:LB18. [https://www.fasebj.org/doi/abs/10.1096/fasebj.23.1\\_supplement.lb18](https://www.fasebj.org/doi/abs/10.1096/fasebj.23.1_supplement.lb18)

- Pavan, R., Jain, S., Shraddha, & Kumar, A. (2012). Properties and Therapeutic Application of Bromelain: A Review. *Biotechnology Research International*, 1-6. <https://www.hindawi.com/journals/btri/2012/976203/>
- Pereira, E., Barros, L., & Ferreira, I. (2013). Relevance of the mention of antioxidant properties in yogurt labels: *in vitro* evaluation and chromatographic analysis. *Antioxidants*, 62-76. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26787624>
- Provital Group, N. E. (2009). *Pineapple*. Obtenido de Centerchem: <http://www.centerchem.com/Products/DownloadFile.aspx?FileID=6823>
- Rahayu, P., Agustina, L., & Tjandrawinata, R. (2017). Tacorin, an extract from *Ananas comosus* stem, stimulates wound healing by modulating the expression of tumor necrosis factor  $\alpha$ , transforming growth factor B and matrix metalloproteinase 2. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 1017-1025. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28680814>
- Rathnavelu, V., Banu, N., Sohila, S., Kanagesan, S., & Ramesh, R. (2016). Potencial role of bromelain in clinical and therapeutic applications. *Biomedical Reports*, 283-288. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4998156/>
- Romano, B., Fasolino, I., Pagano, E., Capasso, R., Pace, S., De Rosa, G., . . . Borrelli, F. (2014). The chemopreventive action of bromelain, from pineapples stem (*Ananas comosus*L.), on colon carcinogenesis is related to antiproliferative and proapoptotic effects. *Molecular Nutrition Food Research*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24123777>
- Roxas Mario, DN. (2008). The role of enzyme supplementation in digestive disorders. *Alternative Medicine Review*, XIII(4), 307-314. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19152478>
- SAGARPA. (2005). *PC-029-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial "México Calidad Suprema" en piña*. [http://www.mexicocalidadsuprema.org/assets/galeria/PC\\_029\\_2005\\_Pina.pdf](http://www.mexicocalidadsuprema.org/assets/galeria/PC_029_2005_Pina.pdf)
- Sah, B., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. (2016). Effect of pineapple waste powder on probiotic growth, antioxidant and antimutagenic activities of yogurt. *Journal of Food Science and Technology*, 1698-1708 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27570295>
- Sah, B., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. (2015). Effect of refrigerated storage on probiotic viability and the production and stability of antimutagenic and antioxidant peptides in yogurt supplemented with pineapple peel. *Journal of dairy science*, 5905-16. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26142843>
- Sah, B., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. (2016). Antibacterial and antiproliferative peptides in synbiotic yogurt- Release and stability during refrigerated storage. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4233-4242. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26995128>
- Salas, C., Badillo, J., Ramírez-Sotelo, G., & Oliver-Salvador, C. (2015). Biologically Active and Antimicrobial Peptides from Plants. *BioMed Research International*, 1-11. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25815307>
- Sancesario, G., Nuccetelli, M., Cerri, A., Zegeer, J., Severini, C., Ciorri, M., . . . Bernardini, S. (2018). Bromelain degrades A $\beta$ 1-42 monomers and soluble aggregates: an *in vitro* study in cerebrospinal fluid of Alzheimer's disease patients. *Current Alzheimer Research*, 628-636. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29359669>
- Sánchez, M., Ahuja, S., & Acevedo, R. (2015). *Producción de Piña Cayena Lisa y MD2 (Ananas comosus L.) en condiciones de Loma Bonita, Oaxaca*. Universidad del Papaloapan. [https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias-BIO-T/Handbook\\_Biologia\\_y\\_Agronomia\\_T1\\_V1\\_109\\_119.pdf](https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias-BIO-T/Handbook_Biologia_y_Agronomia_T1_V1_109_119.pdf)
- Secor, E., Carson, W., Cloutier, M., Guernsey, L., Schramm, C., Wu, C., & Thrall, R. (2005). Bromelain exerts anti-inflammatory effects in an ovalbumin-induced murine model of allergic airway disease. *Cellular immunology*, 68-75. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16337164>
- Secor, E., Carson, W., Singh, A., Pensa, M., Guernsey, L., Schramm, C., & Thrall, R. (2008). Oral bromelain attenuates inflammation in an ovalbumin-induced murine model of asthma. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 61-69. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18317550>
- Secor, E., Szczepanek, S., Rafti, E., Guernsey, L., Thrall, R., & Silbart, L. (2013). Bromelain inhibits allergic sensitization and murine asthma via modulation of dendritic cells. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1-9. <https://www.hindawi.com/journals/ecam/2013/702196/>
- Suárez, M. D., & Serrano, H. (2005). La piña, *Ananas comosus* (L.) Merr. (Bromeliaceae), algo más que un fruto dulce y jugoso. *ContactoS*, 55-61. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n56ne/pina.pdf>
- Taussig, S., & Batkin, S. (1988). Bromelain, the enzyme complex of pineapple (*Ananas comosus*) and its clinical application. An update. *Journal of Ethnopharmacology*, 191-203. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3287010>
- Verma, N., Kumar Meena, N., Majumdar, I., & Paul, J. (2017). Role of bromelain as herbal anti-inflammatory compound using *in vitro* and *in vivo* model of colitis. *Journal of Autoimmune Disorders*, 1-8. <http://autoimmunediseases.imedpub.com/role-of-bromelain-as-herbal-antiinflammatory-compound-using-in-vitro-and-in-vivo-model-of-colitis.php?aid=21395>
- Walker, A., Bundy, R., Hicks, S., & Middleton, R. (2002). Bromelain reduces mild acute knee pain and improves well-being in a dose-dependent fashion in an open study of otherwise healthy adults. *Phytomedicine*, 681-686. <https://pdfs.semanticscholar.org/3f00/38c3029f81f2a6d8360cc59a84787cbb28c9.pdf>
- Yuris, A. (2014). A comparative study of the antioxidant properties of three pineapple (*Ananas comosus* L.) varieties. *Journal of Food Studies*, 40-56. <http://www.macrothink.org/journal/index.php/jfs/article/view/4995>

## BIORREMEDIACIÓN CON ALGAS

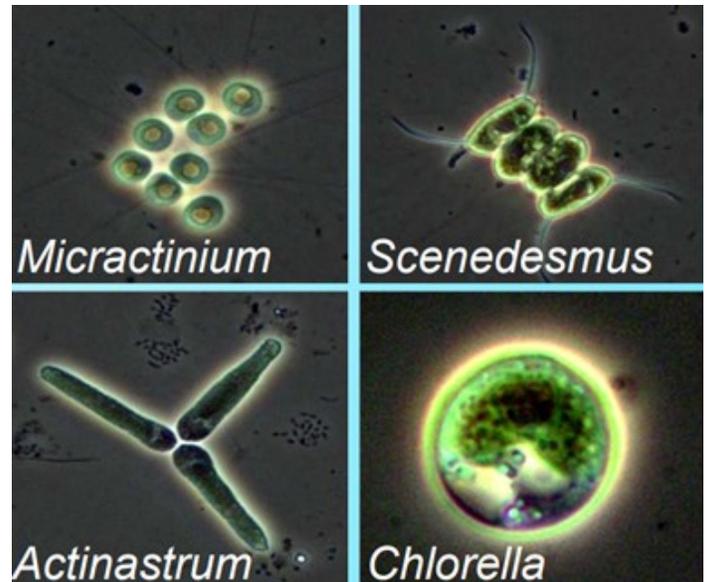
S.M. Salcedo-Martínez, S. Moreno-Limón y A. Rocha-Estrada

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

La biorremediación implica cualquier proceso que utilice microorganismos, hongos, plantas o sus enzimas para restituir a la condición natural un ambiente alterado por contaminantes que pueden ser hidrocarburos, pesticidas, aguas residuales, incluso gases tóxicos. Los sistemas utilizados suelen ser más económicos que los fisicoquímicos o térmicos, actuar en volúmenes o profundidades del suelo o agua inaccesibles para otros métodos, implementarse más frecuentemente *in situ* y las enzimas y poblaciones utilizadas son respectivamente degradadas o reguladas por las otras poblaciones del ecosistema una vez que regresa este a la condición natural. Los argumentos en contra de la biorremediación son que requieren un mayor tiempo para llegar al resultado deseado, necesitan monitoreo para determinar que no se generen productos o intermedios tóxicos y en ocasiones el medio no favorece el establecimiento y proliferación del organismo seleccionado como agente para la biorremediación.

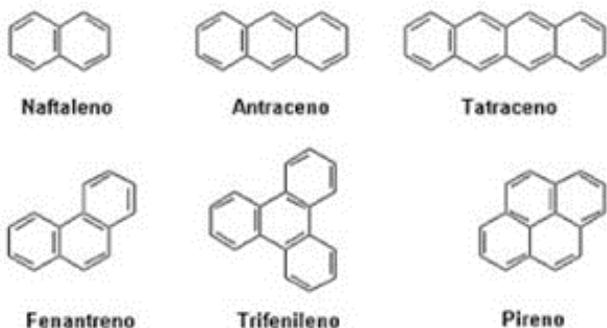
La remediación de sitios contaminados comprende básicamente tres estrategias: la destrucción o modificación del contaminante, alterando su estructura química; su extracción y/o separación del medio, volatilizándolo, solubilizándolo o por su carga eléctrica; su aislamiento o inmovilización, estabilizándolo, solidificándolo o confinándolo.

La remediación de sitios contaminados comprende básicamente tres estrategias: la destrucción o modificación del contaminante, alterando su estructura química; su extracción y/o separación del medio, volatilizándolo, solubilizándolo o por su carga eléctrica; su aislamiento o inmovilización, estabilizándolo, solidificándolo o confinándolo.



Algunas algas usadas en biorremediación <https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/direct-download-library/public/03---resources/algaedigest2016.pdf>

La biorremediación puede emplear organismos propios del sitio contaminado (autóctonos) o de otros sitios (exógenos), puede realizarse *in situ* o *ex situ*, en condiciones aerobias o anaerobias. Aunque no todos los compuestos orgánicos son susceptibles a la biodegradación, los procesos de biorremediación se han usado con éxito para tratar suelos, lodos y sedimentos contaminados con hidrocarburos del petróleo (HTPs), solventes (benceno y tolueno), explosivos (TNT), clorofenoles (PCP), pesticidas (2,4-D), conservadores de madera (creosota) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Las rutas de biodegradación de los contaminantes orgánicos, varían en función de la estructura química del compuesto y de las especies microbianas degradadoras. El proceso de biorremediación incluye reacciones de óxido-reducción, procesos de sorción e inter-

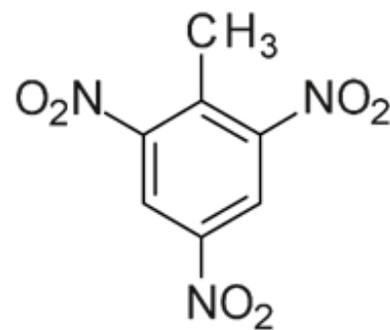


PHAs <http://lenguajequimico.blogspot.com/2010/05/nomenclatura-de-los-hidrocarburos.html>

cambio iónico, e incluso reacciones de acomplejamiento y quelación que resultan en la inmovilización de metales.

Las algas pueden utilizarse en el tratamiento de aguas contaminadas con compuestos orgánicos recalcitrantes por derrames accidentales o de aguas de desecho domésticas, agrícolas o industriales. Algunos de los propósitos pueden ser el de remover las bacterias coliformes, los metales pesados, el nitrógeno y/o fósforo, el reducir las demandas bioquímica y química de oxígeno o el remover o degradar compuestos orgánicos.

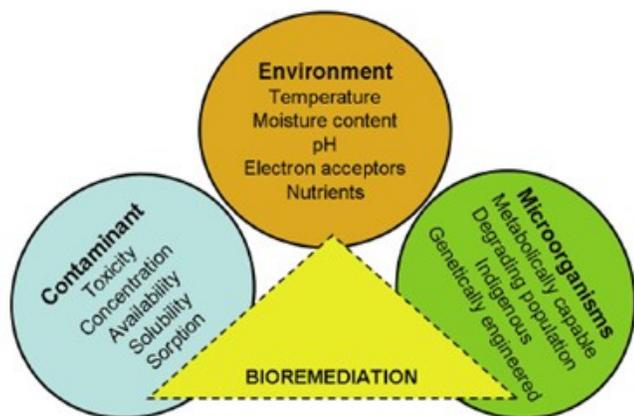
Se estima que los derrames anuales de petróleo están en el rango de  $2 \times 10^5$  a  $2 \times 10^6$  de toneladas métricas. Aunque las cianobacterias y microalgas son miembros importantes de la comunidad micro-



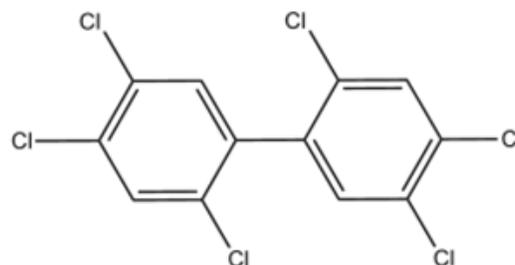
TNT Dominio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1622320>

biana en los ecosistemas acuáticos y terrestres, existen pocos reportes que las relacionen con la degradación de petróleo. No obstante, se ha presentado evidencia de que producen enzimas capaces de transformar estos hidrocarburos en compuestos menos tóxicos, este es el caso de *Scenedesmus obliquus* GH2 que se emplea en consorcios con bacterias y del género *Rhodococcus*, que se asocia con la degradación de n-alcenos de hasta 36 C y alcanos pesados de combustibles.

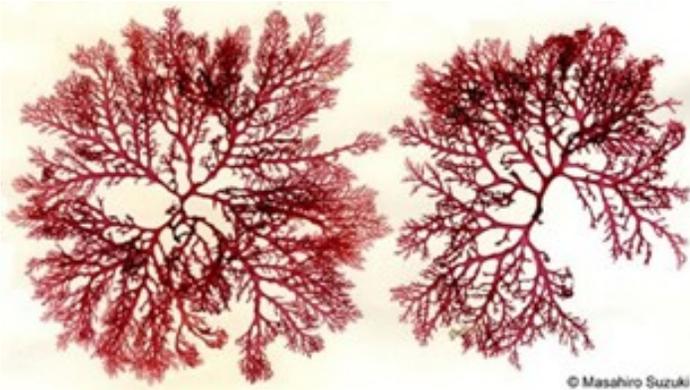
Se ha sugerido que miembros del fitoplancton marino pueden asimilar y acumular varios hidrocarburos clorados y disminuir su concentración en el medio, mientras en ríos, las células de las algas vivas pueden absorber significativamente bifenilos policlorados (PCBs) disueltos. La evidencia indica que estos compuestos se acumulan en las reservas lipídicas del fitoplancton de lagos y también en los exudados de macroalgas feofíceas marinas como *Ascophyllum nodosum* y *Fucus* sp.



Factores que afectan el proceso de biorremediación [https://www.researchgate.net/figure/Factors-of-influence-in-bioremediation-processes\\_fig5\\_286596893](https://www.researchgate.net/figure/Factors-of-influence-in-bioremediation-processes_fig5_286596893)



PCB 153 <https://biomonitoring.ca.gov/es/es/chemicals/bifenilos-policlorados-pcbs>



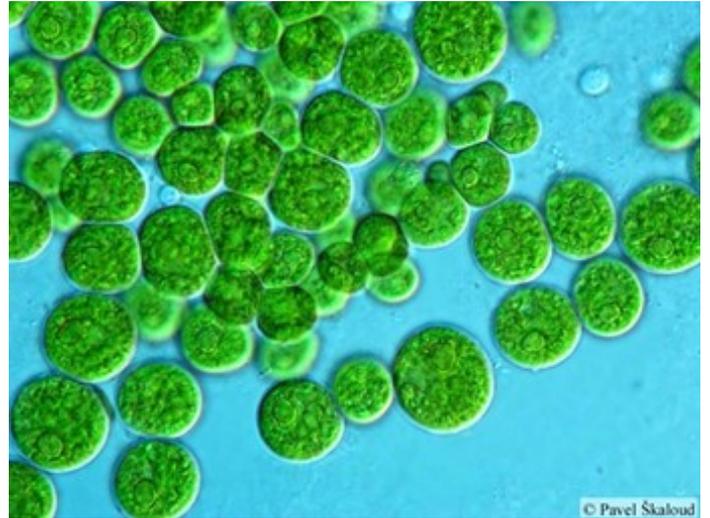
© Masahiro Suzuki

**Portieria hornemannii** <https://alchetron.com/Portieria#demo>

Otro tipo de contaminante común en la columna de agua son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) que se presentan naturalmente en los combustibles fósiles como carbón y petróleo, pero que se forman en la combustión incompleta del carbón, diesel, madera y vegetación. Son moléculas recalcitrantes y tóxicas que persisten en el agua por su hidrofobicidad y escasa solubilidad. Se ha demostrado que las diatomeas *Skeletonema costatum* y *Nitzschia* sp. pueden acumular y degradar en cierta medida dos tipos de PHAs, el fenantreno y fluoranteno (más eficientemente su mezcla y luego el fenantreno que el fluoranteno y *S. costatum* lo hace más efectivamente que *Nitzschia*). El fenantreno también ha sido degradado sin suministro externo de oxígeno por el consorcio formado por el alga



**Agua ácida de minería en Portugal** [https://www.wikiwand.com/en/Environmental\\_impact\\_of\\_mining](https://www.wikiwand.com/en/Environmental_impact_of_mining)



© Pavel Škaloud

**Chlorococcum** [http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/unicells/non\\_flagellated/CHLOROCOCCUM/Chlorococcum\\_image\\_page.htm](http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Chlorophyceae/unicells/non_flagellated/CHLOROCOCCUM/Chlorococcum_image_page.htm)

*Chlorella sorokiniana* y la bacteria *Pseudomonas migulae*. Otro experimento sugiere que la habilidad de oxidar el naftaleno en condiciones fotoautotróficas está ampliamente distribuida en las algas pues esa capacidad se ha demostrado en algunas cianobacterias, clorofitas, rodofitas, diatomeas y pardas.

El 2,4,6-trinitrotolueno (TNT) disuelto en agua o adsorbido en el sedimento es tóxico para una variedad de organismos marinos y se ha sugerido que la presencia de nitrato reductasas en las algas les permite degradarlo, esto es apoyado por la evidencia de que las macroalgas marinas *Acrosiphonia coalita* (verde), *Porphyra yezoensis* y *Portieria hornemannii* (rojas), tienen la capacidad de remover el TNT del agua de mar. Por otra parte, se ha desarrollado un biosensor basado en la combinación de una cepa sensible y otra resistente de la microalga verde *Dicetyosphaerium chlorelloides* para la detección de este contaminante.

En países en desarrollo, los pesticidas causan al año un millón de casos de intoxicación y hasta 20,000 muertes. Dentro de las microalgas verdes, *Scenedesmus quadricauda* posee la habilidad de remover de su ambiente dos fungicidas (dimetomorfo y pyrimetanol) y un herbicida (isoproturón), *Chlamydomonas*



Planta de tratamiento de aguas residuales <http://making-biodiesel-books.com/algae-bioproducts/algae-wastewater-treatment/>

*reinhardtii* la de acumular y degradar los herbicidas prometrineto y fluroxipir, *Monoraphidium braunii* el bisfenol A y *Chlorococcum* sp. y *Scenedesmus* sp. el insecticida ciclodieno  $\alpha$ -endosulfan. Mientras que *Ankistrodesmus fusiformis* en presencia del herbicida mesotrione puede incrementar su densidad celular.

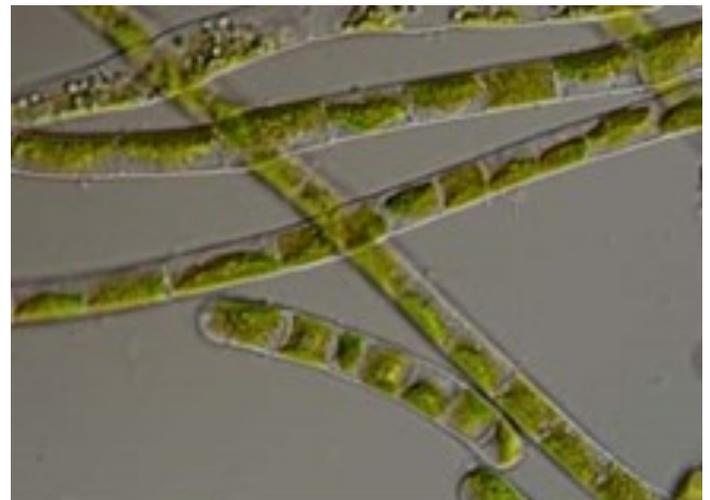
En el caso de aguas residuales de actividades mineras, la recuperación de un mineral de interés implica comúnmente el aumento de la concentración de metales pesados como Al, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn y sulfatos, así como la acidificación del agua, lo cual puede ocasionar casos severos de envenenamiento en la biota silvestre y doméstica. Diferentes trabajos han demostrado que las microalgas son capaces de remover estos contaminantes bajo cierto rango de pH acumulándolos, absorbiéndolos o adsorbiéndolos. Tal es el caso de la diatomea *Phaeodactylum tricornutum* y algunas cepas de algas verdes de los géneros *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Cladophora* y de las cianobacterias *Spirulina*, *Oscillatoria* y *Anabaena*, que han demostrado poder remover un volumen considerable de metales pesados, actuando como hiperacumuladoras e hiperadsorbentes de diferentes elementos. En el proceso, generan una alta alcalinidad, que es esencial para la precipitación de los metales pesados durante el tra-



Laguna de oxidación en Texas foto de E.Butler <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-015-0285-z>

tamiento. La capacidad de remoción es decreciente de clorofitas a feofitas a rodofitas y se ha encontrado que la biomasa algal inerte puede absorber aún más metales que las algas vivas. Las clorofitas de agua dulce *Cladophora glomerata* y *Oedogonium rivulare* se han empleado en la remoción continua de Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni y Pb de este tipo de aguas de desecho y *Stigeoclonium* sp. puede sobrevivir en aguas de minería con alta concentración de Zn.

En el tratamiento de aguas de desecho existen tres estadios principales. En el primario el agua se mantiene en un tanque de sedimentación donde los sólidos más pesados se hunden y los más ligeros y aceites flotan. Mientras el agua se pasa al segundo estadio del tratamiento, los sólidos del fondo son



*Chlorhormidium* <http://algae.ihb.ac.cn/english/algaeDetail.aspx?id=62>



*Ulothrix* <http://www.plingfactory.de/Science/Atlas/Kennkarten%20Algen/Chlorophyta/source/Ulothrix%20sp.2.html>

raspados y por una tolva estos lodos se dirigen a instalaciones para darles otro tratamiento, las natas que flotan son colectadas y retiradas también. En el tratamiento primario aproximadamente del 25-50% de la demanda biológica de oxígeno (DBO), 50-70% de los sólidos suspendidos y 65% del aceite y grasa se remueven, junto con algo del nitrógeno y fósforo orgánicos y metales pesados asociados con sólidos, pero no los constituyentes disueltos o coloidales. El agua puede usarse después de este tratamiento para riego de terrenos de cultivos no destinados para consumo humano o que se someten a un proceso anterior a su consumo. El segundo estadio está diseñado para degradar los contenidos orgánicos mediante procesos biológicos aeróbicos mediados por bacterias, como la biofiltración (usando arena, por contacto con piedras, virutas de madera o plástico o por goteo), la aireación por 30 h (por burbujeo o aspersores) y en climas cálidos las lagunas de oxidación (por 2-3 semanas) resultando en la elevación del contenido bacteriano y la reducción de los contaminantes biodegradables a niveles seguros para poder liberar el agua al ambiente local. En el tratamiento secundario, típicamente se remueve el 85% de la DBO y los sólidos suspendidos originalmente presentes en el agua residual cruda y algo de los metales pesados. Los lodos activados se incorporan a los obtenidos en el primer estadio y se procesan en conjunto dando un efluente de mejor calidad, sobre todo después de un paso de desinfección



Depurador con césped de algas <https://www.reef2reef.com/threads/algae-scrubber-basics.63113/page-3>

ción (cloro, ozono, UV) que remueve una gran proporción de bacterias y virus. Este estadio, produce un agua clara aparentemente limpia, sin embargo, remueve muy poco fósforo, nitrógeno, minerales disueltos y orgánicos no biodegradables, de manera que cuando es descargada en los cuerpos de agua naturales, causa eutroficación y problemas a largo plazo debido a los orgánicos refractarios y los metales pesados. El tercer estadio tiene por objeto elevar la calidad del agua para cumplir los estándares domésticos e industriales o llenar los requerimientos específicos de seguridad y salubridad de una descarga, es decir que implica la remoción de patógenos, nitrógeno, fósforo, sólidos suspendidos adicionales, orgánicos recalcitrantes, metales pesados y sólidos disueltos y que es segura para reusarse. En algunos casos se requiere un tratamiento más avanzado conocido como estadio cuaternario, donde los niveles de contaminación que se manejan son del orden de partes por millón o partes por billón e implican procesos de oxidación o filtrado fino. Cada uno de los cuatro estadios aborda diferentes contaminantes y el agua se hace más limpia a medida que avanza en las fases.

Debido que las algas tienen una elevada velocidad de crecimiento y asimilación de nutrientes (principalmente formas solubles de nitrógeno y fósforo) y pueden crecer durante todo el año en climas cálidos y templados, han sido utilizadas con éxito en estadios terciarios de tratamiento de aguas de

desecho municipales y ganaderas. Incluso se han implementado procesos para la biorremediación de gases producidos en refinerías y termoeléctricas, donde la biomasa producida es cosechada para obtener suplementos alimenticios para el ganado, biocombustibles o metabolitos de valor biotecnológico.

Estos sistemas utilizan algas suspendidas en la columna de agua (*Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus*, *Scenedesmus* sp., *Chlorohormidium* (*Hormidium*), *Phormidium*, *Tribonema* sp., *Pseudonabaena* sp., *Monoraphidium* sp.) o algas filamentosas fijas a una red de nylon, esta última tecnología se conoce como depurador con césped de algas (algal turf scrubber ATS) y se han empleado algas como *Cladophora*, *Microspora willeana*, *Ulothrix* sp., *Ulothrix zonata*, *Ulothrix aequalis*, *Rhizoclonium hieroglyphicum*, *Stigeoclonium* sp., y *Oedogonium* sp. En el tratamiento de estiércol de porcinos y bovinos los géneros que aparecen en literatura son *Spirulina* (*Arthrospira*), *Phormidium*, *Chlorella* y *Scenedesmus*.

Debido a que la remoción de metales pesados es realizada con una alta selectividad se ha sugerido que los procesos de ficorremediación se pueden adecuar a un tipo específico de contaminante y a través de ingeniería genética aumentar los límites de asimilación y la especificidad de las especies algales. La ingeniería genética también podría ser utilizada para producir una nueva generación de algas con una capacidad mejorada de biorremediación sobre contaminantes orgánicos del agua como PCBs, (PAHs) y varios compuestos tóxicos. Ejemplos de compañías que trabajan en ingeniería genética de algas para mejorar la producción de biocombustibles (por ejemplo que secreten los aceites fuera de la célula son Synthetic Genomics (La Jolla, CA; <<http://www.syntheticgenomics.com>>), Solazyme (San Francisco, CA; <<http://www.solazyme.com>>), Sapphire Energy (San Diego, CA; <<http://www.sapphireenergy.com>>), Phycal (Highland Heights, OH; <<http://www.phycal.com/>

site>), Seambiotic (Israel; <<http://www.seambiotic.com>>) y TransAlgae (Israel; <<http://www.transalgae.com>>).

## Referencias

- Arvia Technology (2019). What Are the Three Stages of Wastewater Treatment? En línea en: <https://www.arviatechnology.com/what-are-the-three-stages-of-wastewater-treatment/> Consultado el 18 octubre 2019.
- Bwapwa, J., Jaiyeola, A., Chetty, R. (2017). Bioremediation of acid mine drainage using algae strains: A review. *South African Journal of Chemical Engineering*. 24 (27p.) DOI: 10.1016/j.sajce.2017.06.005
- Chekroun, K. B., Sánchez, E., Baghour, M. (2014). The role of algae in bioremediation of organic pollutants. *International Research Journal of Public and Environmental Health* 1(2): 19-32.
- de la Noüe, J., Laliberté, G., & Proulx, D. (1992) Algae and waste water. *Journal of Applied Phycology*, 4: 247. <https://doi.org/10.1007/BF02161210>
- INECC-SEMARNAT (2007) Tecnologías de remediación. En línea en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/tecnolog.html>. Consultado el 6 de septiembre de 2019.
- Pescod M.B. (1992) Chapter 3. Wastewater treatment En: *astewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47*. FAO. Roma. En línea en: <http://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm#Contents> Consultado el 20 de octubre del 2019.
- Prabha, Y., Soni, S.K., Gupta S., Sonal (2016) Potential of Algae in Bioremediation of Wastewater: Current Research. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 5 (2): 693-700
- Sérodes, J., Walsh, E., Goulet, O., de la Noüe, J., Lescelleur, C. (2011). Tertiary treatment of municipal wastewater using bio-flocculating micro-algae *Canadian Journal of Civil Engineering*. 18: 940-944. DOI 10.1139/I91-116
- Sivakumar, G., Xu, J., Thompson, R.W., Yang, Y., Randol-Smith, P., Weathers, P.J. (2012). Integrated green algal technology for bioremediation and biofuel. *Bioresource Technology*. 107: 1-9.
- Walter W. Mulbry, W.W., Wilkie. A.C. (2001). Growth of benthic freshwater algae on dairy manures. *Journal of Applied Phycology*. 13: 301-306.
- Whitton, R., Ometto, F., Pidou, M., Jarvis, P., Villa, R., Jefferson, B. (2015). Microalgae for municipal wastewater nutrient remediation: mechanisms, reactors and outlook for tertiary treatment. *Journal of Environmental Technology Reviews*. 4 (1): 133-148.

## ALGAS DE IMPORTANCIA BIOTECNOLÓGICA

S.M. Salcedo-Martínez\*, A. Rocha-Estrada, M.A. Alvarado-Vázquez y S. Moreno-Limón

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

\*sergio.salcedomr@uanl.edu.mx

Además de los importantes servicios ambientales que las algas proporcionan a la biosfera, como son la producción de oxígeno, el aumentar la fertilidad de suelos y océanos, constituir la base de las cadenas tróficas de ambientes acuáticos, contribuir a disminuir el impacto del calentamiento global mediante el secuestro de carbono y la formación de nubes, las algas han sido desde la antigüedad aprovechadas por el hombre como fuente de alimento, forraje, fertilizantes y remedios para enfermedades. En la actualidad se les considera un recurso renovable valioso gracias a los productos, procesos y servicios biotecnológicos que generan o en que participan, los cuales impactan en las industrias alimenticia y farmacéutica, así como en la salud pública.

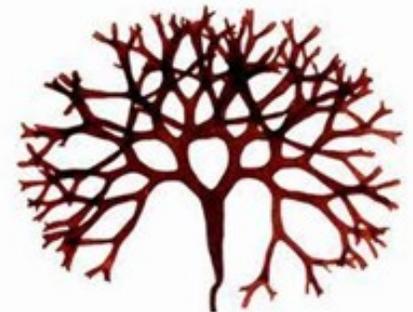
### Ficocoloides

Las algas que son visibles sin requerir de una lente y pueden asirse con la mano se conocen como macroalgas, comúnmente son marinas y basándose en su coloración se reconocen las algas pardas, rojas y verdes. De las paredes celulares de las algas pardas se puede extraer ácido algínico que se recupera en forma de su sal de calcio o alginato. El alginato es un polímero compuesto de monómeros de ácido D-manurónico y L-gulurónico que se obtiene de algas pardas como *Macrocystis*, *Laminaria* y *Ascophyllum* y se utiliza en la industria farmacéutica y alimenticia como estabilizante de emulsiones y suspensiones. El carragenano es una mezcla de polisacáridos derivados de galactosa que se extrae de las paredes celulares de las algas rojas como *Chondrus crispus*, *Furcellaria fastigiata* y especies de *Hypnea*, *Gigartina*, *Euclima* spp. y *Kappaphycus alvarezii*. Este ficocoloide tiene aplicaciones en la industria ali-

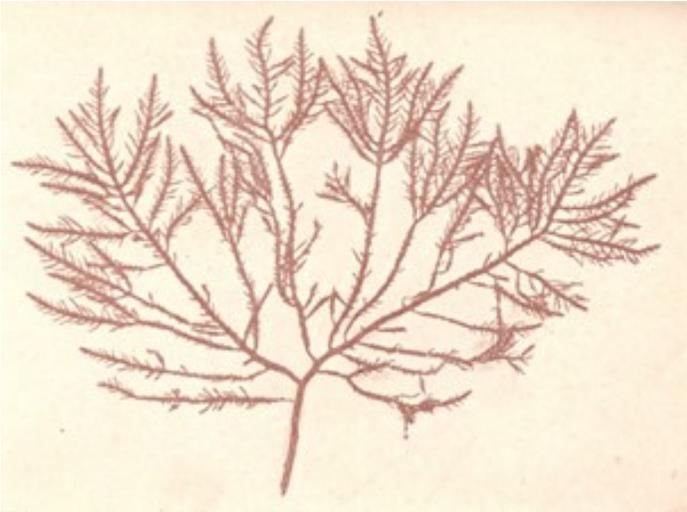


Cultivo de *Euclima* <https://www.wikiwand.com/en/Euclima>

menticia (para la fabricación de postres lácteos), textil y farmacéutica. También de las paredes celulares de algas rojas como *Euclima*, *Gelidium* y *Gracilaria* se extrae el agar, un polímero de unidades de galactosa que contiene dos polisacáridos mezclados, la agaropectina y la agarosa, ambos formados por unidades alternadas de galactosa y galactopiranosas. El agar es comúnmente utilizado en microbiología para gelificar medios de cultivo, pero tiene otros usos, como laxante, espesante de sopas, gelatinas y helados, y como aclarante de cerveza. La agarosa, es utilizada en biología molecular en técnicas de



*Chondrus* sp. <http://www.fao.org/fishery/species/2788/en>



*Gelidium* sp. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Gelidium#/media/Fichier:FMIB\\_53616\\_Rhodophycees\\_ou\\_Floridees\\_\(Algues\\_rouges\)\\_Gelidiacees,\\_Gelidium\\_corneum\\_Lamour.jpeg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Gelidium#/media/Fichier:FMIB_53616_Rhodophycees_ou_Floridees_(Algues_rouges)_Gelidiacees,_Gelidium_corneum_Lamour.jpeg)



Cosméticos a base de algas <https://www.fq.co.nz/beauty/algae-beauty-products>

electroforesis, para separar fragmentos de DNA por electroforesis en este gel y proteínas en columnas de exclusión molecular.

### Cosméticos

En cosmética una de las técnicas de la talasoterapia implica el uso de algas en mascarillas y envolturas de la piel con el fin de rehidratarla gracias a la capacidad gelificante, nutrirla con las sales minerales que contienen, y evitar su envejecimiento al desintoxicarla gracias a la actividad antioxidante (Florotaninos de *Macrocystis pyrifera*) o estimulando la formación de colágeno (*Monodus* sp., *Thalassiosira* sp. y *Chaetoceros* sp.). Otros efectos cosméticos de las algas son el aclaramiento por inhibición



*Gracilaria* sp. [https://species.wikimedia.org/wiki/Gracilaria#/media/File:Atlas\\_des\\_algues\\_marines\\_les\\_plus\\_r%C3%A9pandues\\_des\\_c%C3%B4tes\\_de\\_France\\_48\\_planches\\_repr%C3%A9sentant\\_108\\_esp%C3%A8ces\\_d'algues\\_faciles\\_a\\_r%C3%A9colter\\_avec\\_leur\\_description\\_ainsi\\_que\\_celles\\_des\\_esp%C3%A8ces\\_les\\_plus\\_viosines\\_\(20350017211\).jpg](https://species.wikimedia.org/wiki/Gracilaria#/media/File:Atlas_des_algues_marines_les_plus_r%C3%A9pandues_des_c%C3%B4tes_de_France_48_planches_repr%C3%A9sentant_108_esp%C3%A8ces_d'algues_faciles_a_r%C3%A9colter_avec_leur_description_ainsi_que_celles_des_esp%C3%A8ces_les_plus_viosines_(20350017211).jpg)



*Phaeodactylum tricoratum* [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phaeodactylum\\_tricoratum.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phaeodactylum_tricoratum.jpg)



*Spirulina* sp. <https://utex.org/products/utex-lb-2340?variant=30992067067994>



*Nostoc* sp. Saved from art.com by Robert Calentine <https://www.pinterest.ph/pin/808677676814424151/>

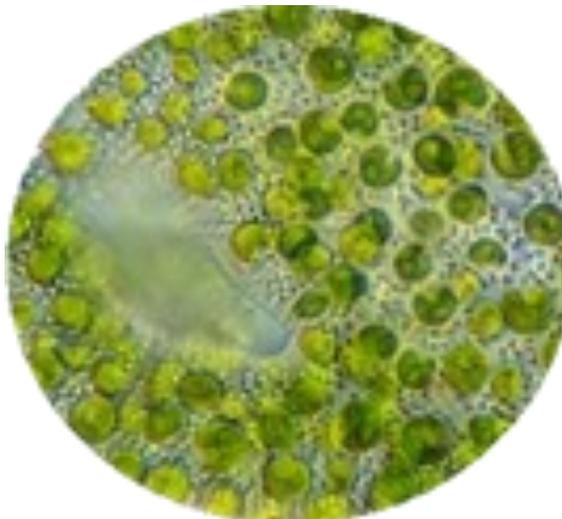
de la enzima tirosinasa (*Nannochloropsis oculata*), protección contra los efectos de la luz UV (*Phaeodactylum tricornutum*).

### Microalgas como fuente de alimento y suplementos dietéticos

El alto valor nutricional de algunas microalgas se ha reconocido históricamente. A principios del s. XVI la *Spirulina* del lago de Texcoco, en México, era consumida por los aztecas como un pastel seco de nombre “tecuitlatl”; un alimento similar se consume y comercializa por los pobladores del lago Chad en Africa y se conoce como “dihé”. En la actualidad la producción comercial de biomasa de esta cianobacteria procede de Tailandia, China, Estados Unidos e India y asciende a 4000 toneladas métricas. *Spirulina* se considera un alimento nutritivo por su elevado contenido de vitaminas, minerales, proteínas y ácido g-linolénico. Los ácidos grasos polinsaturados, la ficocianina y vitamina E que contiene, poseen implicaciones terapéuticas como antibacterial, antifúngico, anti VIH, antiviral, antitumoral, antimalaria, herbicida, inmunosupresor, anti-

inflamatorio y antioxidante en el tratamiento de hiperlipidemia, VIH diabetes, obesidad, artritis, anemia, enfermedades cardiovasculares, hipertensión y cáncer, entre otras. También se ha empleado como suplemento dietético para aumentar la masa muscular o como ingrediente funcional en alimentos para incrementar sus cualidades nutricionales.

En la cultura china, la cianobacteria *Nostoc* se ha consumido por más de 2000 años. Se le considera alimento saludable por su bajo contenido graso y elevado contenido proteico y de pigmentos. *N. falgelliforme* (fa-cai) se usa además desde hace 400 años en China para tratar diarrea, hipertensión y hepatitis, así como *N. sphaerioides* (Ge-Xian-Mi) se consume como alimento e ingrediente herbal.

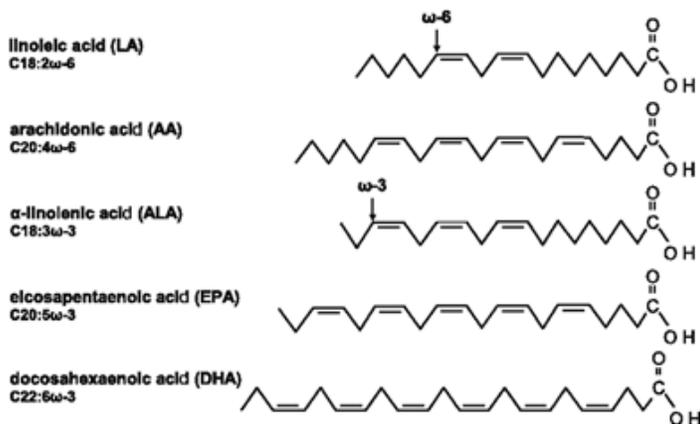


*Chlorella* sp. <https://es.wikipedia.org/wiki/Chlorella>

Otra alga que se considera alimento saludable por su elevado contenido proteico y de carotenoides y su variedad de vitaminas es *Chlorella*, la cual se consume en polvo y en forma de píldoras. Además, posee propiedades antibacterial, anticoagulante, antitumoral, antioxidante, hepatoprotectora y contiene  $\beta$ -glucano que es un inmunostimulante, colector de radicales libres y reductor de lípidos en sangre y un factor de crecimiento que mejora el crecimiento de bacterias lácticas. Las

ventas anuales de *Chlorella* superan los 38 billones de dólares y las principales plantas de cultivo a gran escala se encuentran en Estados Unidos, Israel, Japón, República Checa, Taiwán e Indonesia.

### Productos valiosos de algas y microalgas

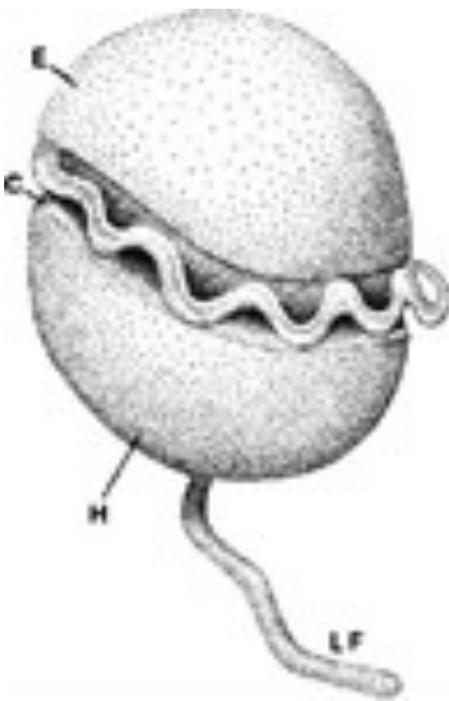


Algunos ácidos grasos poliinsaturados <https://www.semanticscholar.org/paper/Significance-of-long-chain-polyunsaturated-fatty-of-Schuchardt-Huss/86d5e4fe789726d5696f7bf519b2d035c0b63adb>

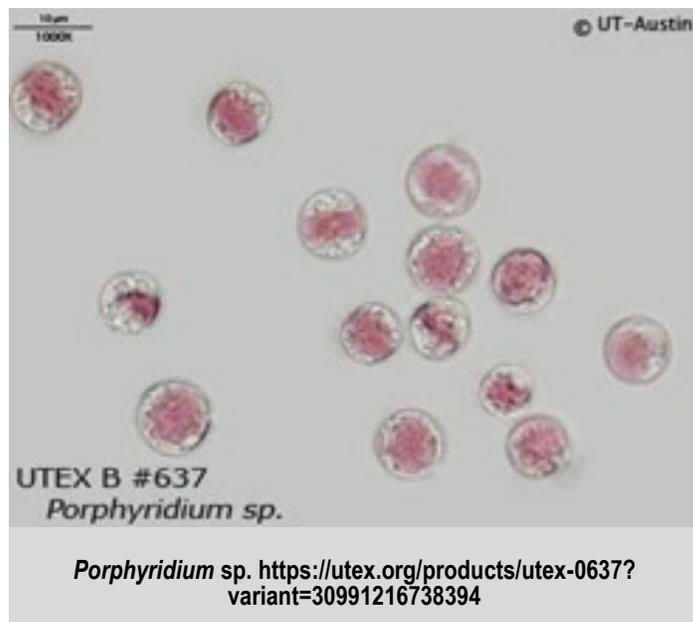
Las microalgas son una fuente potencial de productos biotecnológicos, que incluyen los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), carotenoides, ficobiliproteínas, polisacáridos y toxinas.

### Ácidos grasos poliinsaturados

A varios AGPI de cadena larga, como el ácido eicosapentaenoico (AEP), araquidónico (AA) y docosahexanoico (ADH), se les ha declarado como benéficos en la prevención de enfermedades cardiovasculares. El ADH es importante para el correcto desarrollo del cerebro y ojos en infantes y mantener la salud cardiovascular en adultos. El ADH de *Cryptocodinium cohnii* (Dinophyta) se emplea como un suplemento de fórmulas maternas, el aceite de *Schizochytrium* como suplemento nutricional en alimentos, bebidas y piensos animales, y como alimento para mujeres gestantes, lactantes y personas que quieren mante-



*Cryptocodinium cohnii* [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-Cryptocodinium-cohnii-cell-drawn-from-Perret-et-al-1991\\_fig2\\_227055119](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-Cryptocodinium-cohnii-cell-drawn-from-Perret-et-al-1991_fig2_227055119)



ner su salud cardiovascular. El ácido linolénico de *Spirulina platensis* y el araquidónico de *Porphyridium*, son también usados como suplementos nutricionales. Los AGPI, en especial los omegas 3 y 6 se han usado en el tratamiento de inflamación crónica, como el reumatismo y en enfermedades de la piel, además de prevenir el envejecimiento de la piel y fomentar su regeneración.

### Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos accesorios de las algas que poseen actividad antioxidante y habilidad para prevenir cáncer, envejecimiento, arterosclerosis, enfermedades coronarias y degenerativas. Se clasifican en carotenos si sus fórmulas sólo contienen carbono e hidrógeno y como xantofilas, si presentan radicales oxo, hidroxilo o epoxi. De los 400 carotenoides conocidos, los dos comercialmente más importantes son el  $\beta$ -caroteno y la astaxantina, siguiendo la luteína, zeaxantina y licopeno. Altos niveles de licopeno en plasma y tejidos previenen la enfermedad de las coronarias, infarto al miocardio, la arterosclerosis y el cáncer de próstata. La fucoxantina como suplemento dietéti-



Imagen de la coloración rojiza en un lago, causada por *D. salina*  
[https://www.wikiwand.com/en/Dunaliella\\_salina](https://www.wikiwand.com/en/Dunaliella_salina)

co puede prevenir la obesidad y ser de utilidad en la prevención de enfermedades como artritis reumatoide y osteoporosis además de auxiliar en el tratamiento de la diabetes.

La clorofita unicelular *Dunaliella salina* puede contener hasta un 14% de su peso como  $\beta$ -caroteno, por lo que se cultiva en Australia, Israel, Estados Unidos y China. Sus aplicaciones incluyen su empleo como colorante natural de alimentos, aditivos de piensos animales, cosméticos, precursores de vitaminas (A) y por sus propiedades antioxidantes, se les asocian con actividades antiinflamatorias y anticáncer, por lo que se recomienda en casos de arterosclerosis, reducción de triglicéridos, colesterol y lipoproteínas de alta densidad en sangre. Los carotenoides fitoeno y fitoflueno de *D. salina* protegen contra el daño oxidativo y por luz UV, que provocan el envejecimiento prematuro y otros desórdenes. La luteína es un carotenoide que *Ankistrodermus convolutus* produce en cantidades importantes tiene uso potencial para la alimentación aviar.

El carotenoide astaxantina puede llegar a acumularse hasta representar el 5% del peso seco de la clorofita unicelular flagelada *Haematococcus pluvialis*. Esto ocurre cuando se estresa debido a condiciones ambientales desfavorables, en este estado, retrae los flagelos, aumenta el grosor de su pared celular y



*Haematococcus pluvialis* [https://es.wikipedia.org/wiki/Haematococcus\\_pluvialis](https://es.wikipedia.org/wiki/Haematococcus_pluvialis)

el pigmento la torna roja. La astaxantina se emplea como agente colorante de alimento, aditivo de alimento para la industria avícola y para acuicultura, donde imparte un color rosado a trucha, salmón y camarón. Encapsulada se ofrece como nutraceutico para humanos, Por su fuerte actividad antioxidante protege contra cáncer, enfermedades inflamatorias y cardiovasculares, síndrome metabólico, diabetes, nefropatía diabética, úlcera gástrica inducida por alcohol, disfunción inmune por edad, enfermedades estomacales, neurodegenerativas y oculares (degeneración macular, catarata, glaucoma, retinopatía diabética, retinitis pigmentosa). Se cotiza a 2,500 dólares el kilogramo.

### Ficobiliproteínas

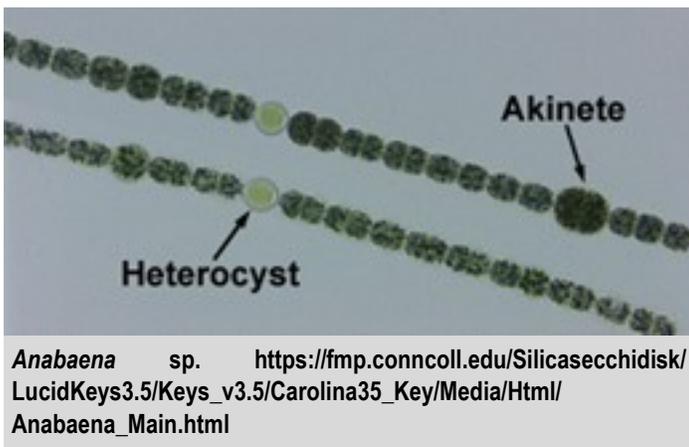
Las ficobiliproteínas son pigmentos accesorios de rodofitas, cianobacterias, haptofitas y criptofitas. Las principales son la ficobilina, ficocianina y aloficocianina. Su contenido celular depende de la intensidad y calidad de la luz que recibe (alrededor del 13% del peso seco en *S. platensis*) y se produce comercialmente con cultivos de *Spirulina*, *Synechococcus* y *Porphyridium cruentum*. Sus aplicaciones principales son como colorantes naturales para alimentos (goma de mascar, sorbetes helados, paletas de dulce, refrescos, productos lácteos, wasabi) y cosméticos (delineadores y labiales), así como marcadores fluorescentes en el diagnóstico inmunológico médico. Gracias a su actividad antioxidante po-



seen efectos benéficos para la salud, resaltando el efecto protector de las células pancreáticas y articulaciones.

### Ficotoxinas

Las toxinas de microalgas son producidas principalmente por dinoflagelados y cianobacterias y se asocian con un crecimiento repentino de sus poblaciones causado por un aumento en los niveles de nitrógeno y fósforo del agua. Las toxinas causan problemas de salud en humanos, mascotas, ganado y vida silvestre ya que provocan síntomas de neurotoxicidad, hepatotoxicidad, citotoxicidad y dermato-

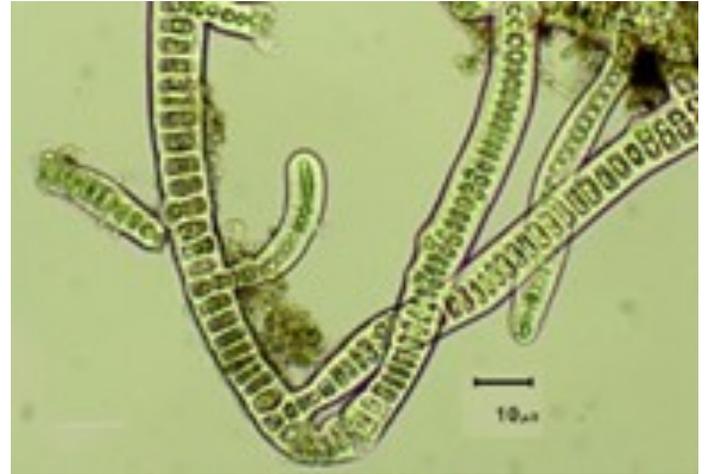


xicidad. Sin embargo, dentro del rango de sus actividades biológicas se incluye la antitumoral y citotóxica contra líneas celulares de cáncer como linfomas y carcinomas; la antibiótica, la antifúngica, la inmunosupresora y la neurotóxica, esta última ha permitido observar el efecto de nuevas drogas antipsicóticas y para tratar la esquizofrenia. Las toxinas más comunes que se presentan en agua dulce son producidas por especies de cianobacterias como *Microcystis*, *Anabaena*, *Nostoc* y *Oscillatoria* e incluyen la microcistina, la homo y anatoxina-a y saxitoxinas. Las toxinas de los dinoflagelados marinos causan parálisis, diarrea, convulsiones, amnesia, arresto





*Scytonema* sp. [https://fmp.conncoll.edu/Silicasecchidisk/LucidKeys3.5/Keys\\_v3.5/Carolina35\\_Key/Media/Html/Scytonema\\_Main.html](https://fmp.conncoll.edu/Silicasecchidisk/LucidKeys3.5/Keys_v3.5/Carolina35_Key/Media/Html/Scytonema_Main.html)



*Stigonema* sp. [http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria/cyano\\_filaments/cyano\\_branched\\_fil/cyano\\_true\\_branches/STIGONEMA/Stigonema\\_Image\\_page.html](http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria/cyano_filaments/cyano_branched_fil/cyano_true_branches/STIGONEMA/Stigonema_Image_page.html)

respiratorio y a veces la muerte en humanos que ingieren moluscos bivalvos o peces de arrecifes que se han alimentado de algas tóxicas. Estas toxinas son producidas por especies de *Alexandrium*, *Dinophysis*, *Karenia* y *Gymnodinium* e incluyen las pectenotoxinas, ciguatoxinas y el ácido okadaico entre otras.

La caulerpina de las macroalgas *Caulerpa* spp. y *Chondria armata* (verdes y roja respectivamente), es un alcaloide tóxico del grupo de los Bis-indoles que tiene aplicación potencial en ingeniería como agente anticorrosión y en medicina por sus actividades contra el dolor, antiinflamatoria, antitumoral, antiherpes, larvicida, antimicrobiana, inmunoestimulante, antidiabética, regulatoria del crecimiento vegetal, antituberculosis y espasmolítica.

### Otros compuestos bioactivos

Dentro de las adaptaciones de las algas se cuenta la síntesis de moléculas que le confieren ventajas que le permiten lidiar con depredadores, competidores y el estrés ambiental. Estas sustancias, que comúnmente son metabolitos secundarios, comprenden ácidos orgánicos, carbohidratos, aminoácidos, péptidos, vitaminas, promotores de crecimiento, antibióticos, enzimas y toxinas. La necesidad de nuevos medicamentos ha llevado a la exploración de estos

compuestos en búsqueda de actividades biológicas de utilidad para la humanidad, que han resultado en el descubrimiento de compuestos anticáncer, antivirales, antioxidantes e inmunomoduladores.

### Antioxidantes

Otros compuestos antioxidantes y que actúan como protectores contra luz UV son el dimetilsulfo-propionato y los aminoácidos tipo micosporina que algunas microalgas (haptofitas por ej.) sintetizan.

### Anticoagulantes

Ciertos depsipéptidos como la micropeptina, microcystilida, cyanopeptolina, oscillapeptina y nostocyclina son inhibidores de enzimas como la tripsina, plasmina, trombina y quimiotripsina y tienen aplicaciones potenciales en el tratamiento de oclusiones arteriales y enfisema pulmonar.

### Antivirales

La cyanovirina-N de cianobacterias ha demostrado ser un potente antiviral contra el VIH, por lo que se está considerando que podría ser el ingrediente activo de un compuesto vaginal tópico para prevenir el contagio de SIDA. La cyanovirina de *Nostoc* además ha tenido un efecto positivo en el tratamiento de influenza (H1N1). Ciertos polisacáridos sulfatados de las paredes celulares de algas tienen actividad antiviral, como el espirulano de *S. platensis*, que inhibe la entrada a las células de los virus cau-

santes de paperas, Herpes simplex y citomegalovirus, y los del alga roja *Porphyridium* la adsorción de los viriones del HSV-1, HSV-2 y Varicela zoster. Los polisacáridos sulfatados de microalgas inhiben el virus de la encefalomiocarditis, del Herpes tipo 1 y 2, el de VIH, el virus de la septicemia hemorrágica en peces salmónidos, el virus de la fiebre porcina y el de la varicela. En particular el carragenano de algas rojas inhibe la absorción del papilomavirus humano y la liberación de su cubierta. Se ha demostrado que las scytoneminas de *Scytonema pseudohoffmanni* inhiben células de carcinoma epidermoide y otras líneas celulares de mamífero, mientras la scytonemina de *Stigonema* es un inhibidor de quinasas con actividades antiproliferativas e inflamatorias y la cryptoficina es un destacado compuesto anticáncer. En las macroalgas pardas el fucoidan que es un polisacárido sulfurado de la pared celular compuesto por una mezcla de monosacáridos como la fucosa, glucosa, xilosa y galactosa, tiene actividad antiinflamatoria correlacionada con su actividad antioxidante y anticáncer debido a que induce la apoptosis celular promoviendo la actividad de caspasas, o suprime la angiogénesis previniendo la formación de capilares sanguíneos.

### **Biocombustibles**

Las algas pueden almacenar como sustancia de reserva diferentes tipos de lípidos hasta llegar de un 16 a un 68% de su peso seco y al cultivarlas en estanques la cosecha puede alcanzar los 136,000 L/ha, una cifra superior a los rendimientos de cultivos de plantas oleaginosas, que llegan entre 172 y 5950 L/ha. Los lípidos de microalgas como *Chlorella*, pueden utilizarse en la producción de biodiesel, el que se obtiene de *Ch. protothecoides* es de alta calidad por su elevado valor calórico y viscosidad. Otros biocombustibles que se obtienen de algas son el metano, por la descomposición bacteriana de las mismas y el hidrógeno.

### **Biorremediación**

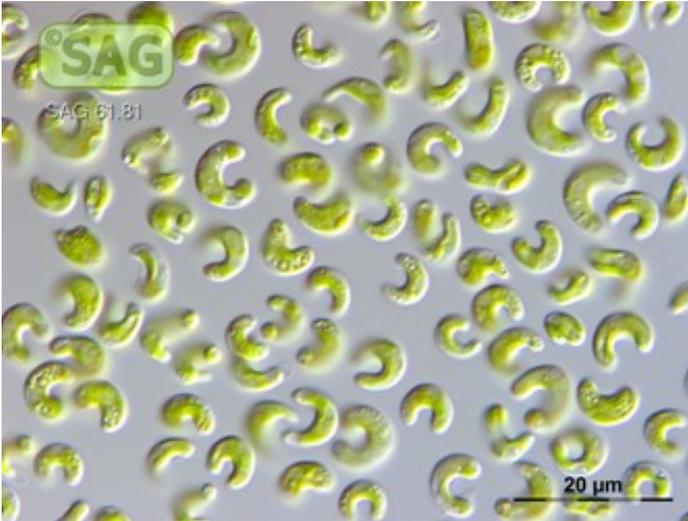
Uno de los gases de invernadero causantes del calentamiento global es el CO<sub>2</sub>. Las algas lo utilizan para la síntesis de biomoléculas en su proceso foto-



*Scenedesmus* sp. <https://www.youtube.com/watch?v=mvJARlKQT0>

sintético. En teoría las microalgas podrían utilizar hasta el 9% de la energía solar que llega a la tierra y producir 280 ton de biomasa seca por ha por año, secuestrando alrededor de 513 tons de carbono. Algunas algas que pueden crecer en atmósferas con niveles de CO<sub>2</sub> tan altos como 10-13% son *Spirulina* sp., *Scenedesmus obliquus* y *Chlorella vulgaris*. En cuestiones de salud pública, las descargas de agua residual (AR) doméstica e industrial representan un gran reto, sobre todo cuando además de elementos y compuestos que elevan el contenido de materia orgánica y su fertilidad, contienen algún contaminante. Uno de los sistemas más eficientes para el tratamiento de AR en zonas tropicales donde predominan en el año elevadas temperaturas e insolación consiste en estanques someros con ruedas de paletas para mover el agua y favorecer la transferencia de masas y optimizar el crecimiento algal.

En estos sistemas se reduce eficientemente los indicadores de contaminación como son total de partículas en suspensión (TPS), demandas química y biológica de oxígeno (DQO y DBO) y contenidos de nitrógeno y fósforo, entre otros y se pueden extraer muestras para realizar bioensayos para monitorear la presencia de tóxicos ambientales. Efluentes municipales, de fábricas de almidón, textiles, huleras y moliendas de aceite de palma, se han tratado con éxito con algas individuales y los lixiviados de relleños sanitarios con consorcios. Los sistemas de biorremediación de AR también comprenden métodos

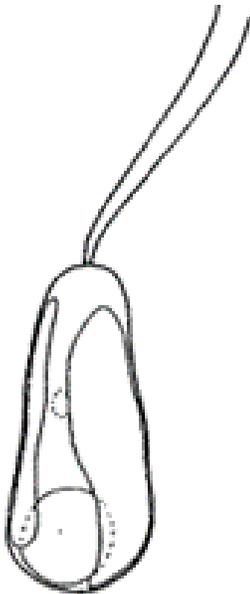


*P. (Raphidocelis) subcapitata* [https://sagdb.uni-goettingen.de/detailedList.php?str\\_number=61.81](https://sagdb.uni-goettingen.de/detailedList.php?str_number=61.81)

con algas inmovilizadas, como el caso de *Chlorella vulgaris* en alginato, que exitosamente ha removido colorantes para textiles y *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus* el nitrógeno y fósforo de urbanas.

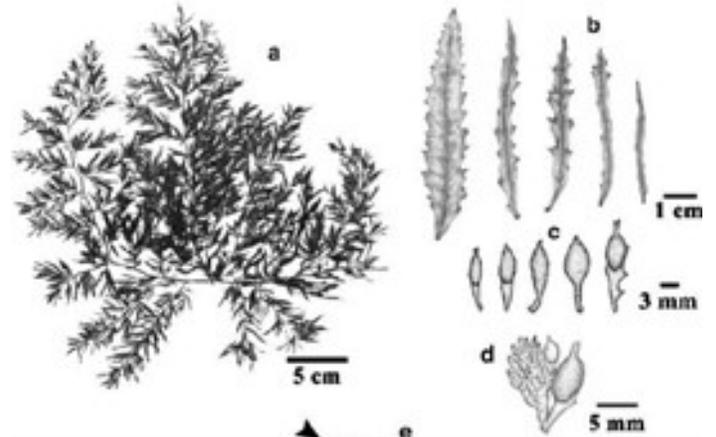
### Biomonitoreo

También las algas susceptibles a tóxicos resultan útiles en bioensayos y biomonitoreo de contaminantes. Sirven para estimar su toxicidad y efectos biológicos sobre el crecimiento, fotosíntesis, movi-



*Isochrysis galbana* <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/isochrysis-galbana>

miento, marcadores de estrés oxidativo, composición bioquímica y pigmentación. Tal es el caso de las clorofitas *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Dunaliella tertiolecta*, *Chlorella* spp. y la haptofita *Isochrysis galbana* que son las más comúnmente usadas en los bioensayos para detectar y medir metales pesados, pesticidas y fármacos. En cambio, para estimar niveles de eutroficación causada por fertilizantes o aguas industriales las algas más comúnmente empleadas son *Ch. vulgaris*, *Scenedesmus quadricauda* y *Ankistrodermus convolutus*.



*Sargassum swartzii* [https://www.researchgate.net/figure/Sargassum-swartzii-Turner-CA-Agardh-a-Habit-b-leaves-c-vesicles-d-androgynous\\_fig8\\_200805046](https://www.researchgate.net/figure/Sargassum-swartzii-Turner-CA-Agardh-a-Habit-b-leaves-c-vesicles-d-androgynous_fig8_200805046)



*Chondria dasyphylla* [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Chondria\\_dasyphylla\\_Crouan.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Chondria_dasyphylla_Crouan.jpg)

## Antiprotozoarios

En diferentes experimentos in vitro se ha demostrado la actividad anti protozoarios de los extractos acuosos y orgánicos de rodofitas, feofitas y clorofitas, contra *Trypanosoma cruzi*, *Trypanosoma brucei rhodesiense*, *Leishmania donovani* y *Plasmodium falciparum*, *Giardia intestinalis*, *Entamoeba histolytica* y *Trichomonas vaginalis*. Entre las algas que se han ensayado con éxito se cuentan las clorofitas *Cladophora rupestris*, *Cladophora glomerata*, *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*, *Ulva intestinalis* y *Ulva lactuca*; las pardas *Lobophora variegata*, *Dictyota dichotoma*, *Halopteris scoparia*, *Sargassum natans*, *Dictyota caribea*, *Turbinaria turbinata* y las rodofitas *Laurencia microcladia*, *Scinaia furcellata* y *Plocamium cornutum*. Los compuestos con esta actividad son quinovo piranosil sulfurados de glicerol (antiprotozoos), fucoxantina y sargaquinal (antimalaria) entre otros.

## Larvicidas

Existen reportes que correlacionan la mortandad de larvas de mosquito con la presencia de ciertas algas. Este fenómeno se ha registrado para *Aedes aegypti* con *Chlorella vulgaris*. Los extractos con acetato de etilo de *Sargassum swartzii* y *Chondria dasyphylla* se han reportado que alcanzan una mortalidad del 96 y 95% respectivamente, contra larvas del mosquito vector de la malaria *Anopheles stephensi*. También los derivados del ácido domoico de *Ch. armata* poseen actividad larvicida.

## Medicina forense

La presencia de los esqueletos de sílice de diatomeas en los pulmones, se ha validado como una prueba exitosa para identificar el ahogamiento como la causa de muerte, en casos de muertes por causas dudosas y en ocasiones, señalar el sitio exacto donde ocurrió gracias a la presencia de especies características de ríos, lagos o bahías.

## Sustituto cárnico

Actualmente se comercializa con el nombre de TAP, Alnuts o Nostoc un sustituto o suplemento de la carne que se presenta en la forma de sushi, pollo,

pavo, atún o carne roja consistente en proteína algal texturizada digerible.

Los recursos microalgales son valiosos para un país, pues tienen una diversidad de aplicaciones, ya sea como fuente de alimento y piensos animales, potencial de nutracéuticos, aditivos para alimentos o cosméticos, biocombustibles y moléculas bioactivas, o por su empleo en procesos como la biorremediación.

## Referencias

- Bueno Ariedeia, M., Marcílio Candido, T., Morocho Jacome, A.L., Robles Velasco, M.V., de Carvalho, J.C.M., Rolim Baby, A. (2017) Cosmetic attributes of algae - A review. *Algal Research*. 25: 483-487.
- Chu Wan-Loy, C. (2012). Biotechnological applications of microalgae *IntJMSME*, 6(1): S24-S37.
- Greque de Morais M., Da Silva Vaz B., Greque de Morais E., Vieira Costa J.A. 2015 Biologically active metabolites synthesized by microalgae. *BioMed Research International*. 15 pp. [Http://dx.doi./10.1155/2015/835761](http://dx.doi./10.1155/2015/835761)
- Kharkwal, H., Joshi, D. D., Panthari, P., Pant, M. K., Kharkwal, A. C. 2012 Algae as future drugs. *Asian Journal of Pharmaceutical and clinical Research*, 5(4): 1-4.
- Lunagariya, J., Bhadja, P., Zhong, S., Vekariya, R., Xu, A. (2019) Marine Natural Product Bis-indole Alkaloid Caulerpin: Chemistry and Biology. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*. 19(9): 751-761
- Sanmukh, S., Bruno, B., Ramakrishnan, U., Khairnar, K., Swaminathan, S., Paunekar, W. (2014) Bioactive Compounds Derived from Microalgae Showing Antimicrobial Activities. *Journal of Aquatic Research and Development* 5(3): 224-227.
- Sharma A., Kumar Arya S. (2017). Hydrogen from algal biomass: A review of production process. *Biotechnology Reports (Armst)* 15: 63-69.
- Xiao-yan, L., Dan L., Guo-peng, L., Yi-jing, W., Lu-ying, G., Chao, A., Yi-fan, H., Ming-fu, W., Hesham R.E-S., Xinhua, C., Chao, Z. (2019) Anti-ageing and antioxidant effects of sulfate oligosaccharides from green algae *Ulva lactuca* and *Enteromorpha prolifera* in SAMP8 mice. *International Journal of Biological Macromolecules*. 139: 342-351.

# AEROPALINOLOGÍA DE CUPRESSACEAE-TAXODIACEAE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, NUEVO LEÓN, MÉXICO

A. Rocha-Estrada\*, MA. Alvarado-Vázquez y M.A. Guzman-Lucio

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

## Abstract

The presence of Cupressaceae-Taxodiaceae pollen was studied in the air of the metropolitan area of Monterrey (AMM) during the months of January to June 2012. A volumetric type Hirst (Lanzoni VPPS 2000, Italy), placed at a height of approximately 15 meters, and raised to 1.5 m above the ceiling of building C of the Faculty of Biological Sciences of the Autonomous University of Nuevo Leon. Daily data were expressed as daily mean grain/m<sup>3</sup>. A total of 1878 pollen grains were recorded in the air for the Monterrey metropolitan area, corresponding to 31 pollen types, of which 241 to Cupressaceae-Taxodiaceae. The results of the correlation analysis between the daily average of pollen and the meteorological variables show a negative and highly significant correlation between the daily average of Cupressaceae-Taxodiaceae with mean, maximum, minimum and wind speed.

**Key words:** pollen, Monterrey, Cupressaceae-Taxodiaceae

## Resumen

Se estudió la presencia de polen de Cupressaceae-Taxodiaceae en el aire del área metropolitana de Monterrey (AMM) durante los meses de enero a junio del 2012. Para la captura del polen se utilizó un captador volumétrico tipo Hirst (Lanzoni VPPS 2000, Italia), colocado a una altura aproximada de 15 metros, y elevado a 1.5 m sobre el techo del edificio C de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Los datos diarios se expresaron como media diaria de granos/m<sup>3</sup>. Se contabilizaron un total de 1878 granos de polen en el aire para el área metropolitana de Monterrey, correspondientes a 31 tipos polínicos, de los

cuales 241 granos pertenecen al complejo Cupressaceae-Taxodiaceae. Los resultados del análisis de correlación entre la media diaria de polen y las variables meteorológicas, muestran correlación negativa y altamente significativa entre la media diaria de Cupressaceae-Taxodiaceae con la temperatura media, máxima, mínima y la velocidad del viento.

**Palabras clave:** polen, Monterrey, Cupressaceae-Taxodiaceae

## Introducción

El complejo Cupressaceae-Taxodiaceae, son árboles o arbustos siempreverdes (*Cupressus*, *Juniperus*, *Thuja*) o caducifolios (*Taxodium*); hojas escamosas, imbricadas, con vena media sin dividirse o aciculadas y simples, dispuestas en espiral, en pares alternos (decusadas) o en tríos o en cuatro; conos femeninos solitarios, horizontales o colgantes en las puntas de las ramillas, permaneciendo intactos al madurar o dehiscentes irregularmente al madurar, más o menos leñosos y secos o raramente con partes carnosas (*Juniperus*) e indehiscentes; semillas de 1 a 30 por escama, liberándose del cono al madurar (excepto *Juniperus*), con alas pequeñas. Estas familias están representadas por 28 géneros y 136 especies en el planeta, en nuestro país crecen de manera natural especies pertenecientes a *Juniperus*, *Cupressus* y *Taxodium*, sin embargo, también encontramos especies introducidas, el caso de *Thuja occidentalis* y *Cupressus lusitanica* (Villarreal Quintanilla y Estrada Castillón, 2008; Estrada Castillón *et al.*, 2014).

El polen de Cupressaceae-Taxodiaceae se le ha encontrado que es causante de enfermedades alérgicas como la polinosis y es uno de los más frecuentes en el aire, lo cual ha sido demostrado en estudios realizados en diferentes países como México (Rocha Estrada *et al.*, 2004; Rocha Estrada *et al.*, 2008, Rocha Estrada *et al.*, 2009; Leal *et al.*, 2010), Argentina (Caramuti *et al.*, 2014), España (Ruiz de Clavijo *et al.*, 1988; Subiza *et al.*, 1995; Belmonte *et al.*, 1999; Díaz de la Guardia *et al.*, 2006; Tortajada y Mateu, 2009), Italia (Papa *et al.*, 2001; Mandrioli *et al.*, 2003), Israel (Geller-Bernstein *et al.*, 2000), Francia (Charpin, 2000; Calleja *et al.*, 2003), Albania (Priftanji *et al.*, 2000), entre otros.

Este estudio forma parte importante de la aeropalinología del área metropolitana de Monterrey y su relación con las enfermedades alérgicas en la población que es sensible a estas biopartículas.

## 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 situado 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 esta 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 subcuenca 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 extremoso, 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 (Limón y Leal, 1995 en Rocha-Estrada, 2005).

### Estudio aerobiológico

Para la captura y recuento del polen atmosférico se tomaron en cuenta las recomendaciones de la Asociación Panamericana de Aerobiología utilizando captadores volumétricos tipo Hirst (Hirst, 1952).

Muestreo. El muestreo se llevó a cabo en el edificio de unida 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.

**Montaje de las muestras.** En el laboratorio de Anatomía y Fisiología Vegetal, 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.

**Identificación del polen.** Una vez procesadas las muestras de los colectores, se procede a analizarlas al microscopio óptico. Para la identificación del grano de polen de Cupressaceae-Taxodiaceae, utilizándose las obras de Kremp (1965), 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.

**Recuentos polínicos.** 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 cuatro barridos longitudinales, 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 por volumen de aire ( $\text{granos/m}^3$ ), multiplicándose por el factor de corrección de 0.54. Además, se determinó el índice polínico mensual y total.

**Información meteorológica.** La información meteorológica de temperatura media, temperatura máxima y mínima, así como la humedad y la velocidad del viento fue proporcionada por SIMA (Sistema de Monitoreo Ambiental), se presentan los valores medios de las variables meteorológicas en el Cuadro 1.

**Análisis de correlación.** Se realizó el análisis de Correlación de Spearman entre la media diaria del polen de Cupressaceae-Taxodiaceae con la temperatura (mínima, media y máxima), humedad y velocidad del viento en el programa computacional SPSS (v 22.0).

## Resultados y Discusión

### Descripción del polen

El polen es inaperturado, presenta una forma esférica, de aproximadamente 25 micras de diámetro y una cubierta lisa. Están rodeados por una gruesa exina (parte externa) con microyemas (esferas irregularmente dispersas) y el citoplasma tiene un aspecto estrellado o multiglobular (Hyde y Adams, 1958) (Figura 1).

**Cuadro 1. Media mensual de las variables meteorológicas durante enero-junio del 2012**

Mes/Variable	T media °C	T máx °C	T mín °C	Humedad %	Vel. del viento km/h
Enero	16.98	22.96	11.41	54.74	6.06
Febrero	16.73	21.66	12.56	72.99	8.65
Marzo	21.57	27.37	16.46	62.52	8.65
Abril	25.14	30.79	19.97	60.51	9.60
Mayo	26.62	32.00	21.23	65.18	9.41
Junio	28.54	34.45	22.99	61.07	9.63



**Figura 1. Grano de polen de Cupressaceae-Taxodiaceae**

### Comportamiento aerobiológico

Para el periodo de estudio comprendido entre enero y junio del 2012 se contabilizaron un total de 1878 granos de polen en el aire para el AMM, correspondientes a 31 tipos polínicos. De los cuales 241 granos pertenecen a Cupressaceae-Taxodiaceae, es decir, cerca de un 12.83% del total (Cuadro 2). Otros tipos polínicos encontrados y que contribuyen de forma importante son *Fraxinus* (249 granos), *Celtis* (274 granos) y Moraceae (180 granos). El polen de Cupressaceae-Taxodiaceae se caracteriza por su presencia continua en el aire, ya que se le encontró durante 68 días (241 granos) durante el periodo de estudio. La media diaria máxima

de 19 g/m<sup>3</sup> de aire se registró el 12 de enero del 2012 (Figura 2). En un estudio realizado por Subiza *et al.* (1998), en doce ciudades españolas, encuentran que en las estaciones de Toledo, Madrid y Sevilla presentaron los recuentos más altos, con variaciones interanuales importantes, destacando la intensidad de la estación de octubre 1996-abril 1997 en la que se alcanzó la media diaria máxima >700 g/m<sup>3</sup>.

Por su parte Díaz de la Guardia *et al.* (2006), mencionan que el polen de Cupressaceae registrado en el sur de España (Granada) se encuentra presente en el aire la mayor parte del año, pero registra una alta incidencia en los meses de invierno, además muestra un comportamiento irregular en el aire, con fluctuaciones anuales, estacionales y en un mismo día. Para este estudio se encontró que el mes que presentó el mayor índice polínico mensual corresponden a enero con 165 granos de polen (Cuadro 2).

Con respecto a la variación horaria se registraron altas concentraciones entre las 4:00 y las 8:00 horas con un total de 78 granos de polen (Figura 3). Por su parte Rocha Estrada *et al.* (2013), mencionan que la mayor presencia de polen se registra entre las 15:00 y 19:00 horas. En lo referente a la correlación entre la media diaria polínica y las variables meteorológicas se muestran el Cuadro 3, en donde se puede apreciar que para Cupressaceae-Taxodiaceae existe correlación negativa y altamente significativa con respecto a la temperatura media, máxima, mínima y la velocidad del viento. En un estudio realizado por Rocha-Estrada *et al.* (2013), encuentran que la temperatura influye de forma positiva, mientras que la humedad afecta de forma negativa la concentración de polen en el aire. Por su parte Rodríguez-Rajo *et al.*, (2002) y Prieto Baena *et al.* (2003), mencionan que los factores meteorológicos ejercen una clara influencia sobre la duración de la floración y, por lo tanto, sobre la concentración de polen. De manera general la concentración polínica aumenta con la temperatura máxima, disminuye con la precipitación y la temperatura mínima.

**Cuadro 2. Índice polínico mensual y total de Cupressaceae-Taxodiaceae**

Mes/Tipo polínico	Cupressaceae-Taxodiaceae	Otros	Total
Enero	165	181	346
Febrero	30	603	633
Marzo	30	440	470
Abril	10	202	212
Mayo	3	125	140
Junio	3	74	77
Total	241	1096	1878

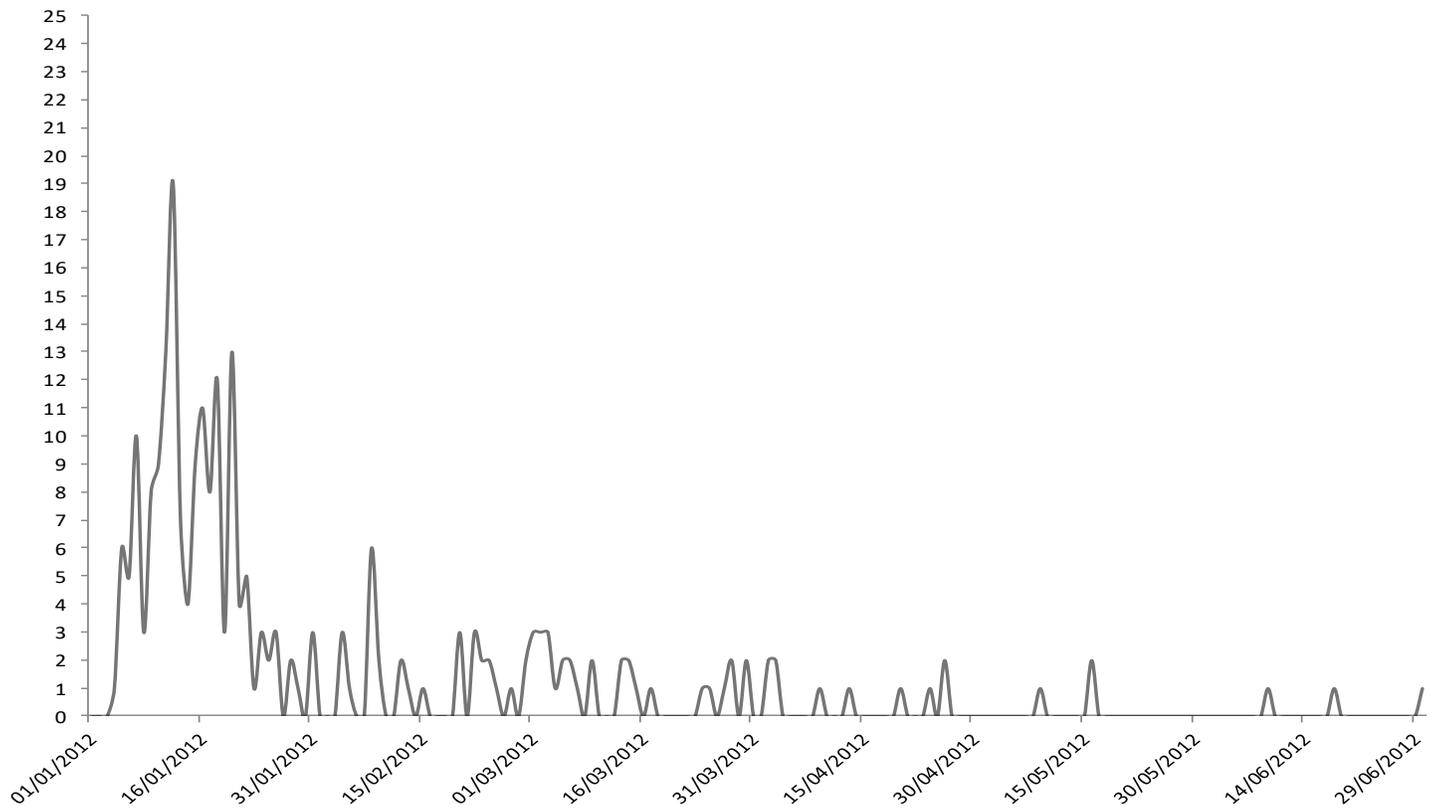


Figura 2. Media diaria de granos de polen de Cupressaceae-Taxodiaceae por metro cúbico de aire

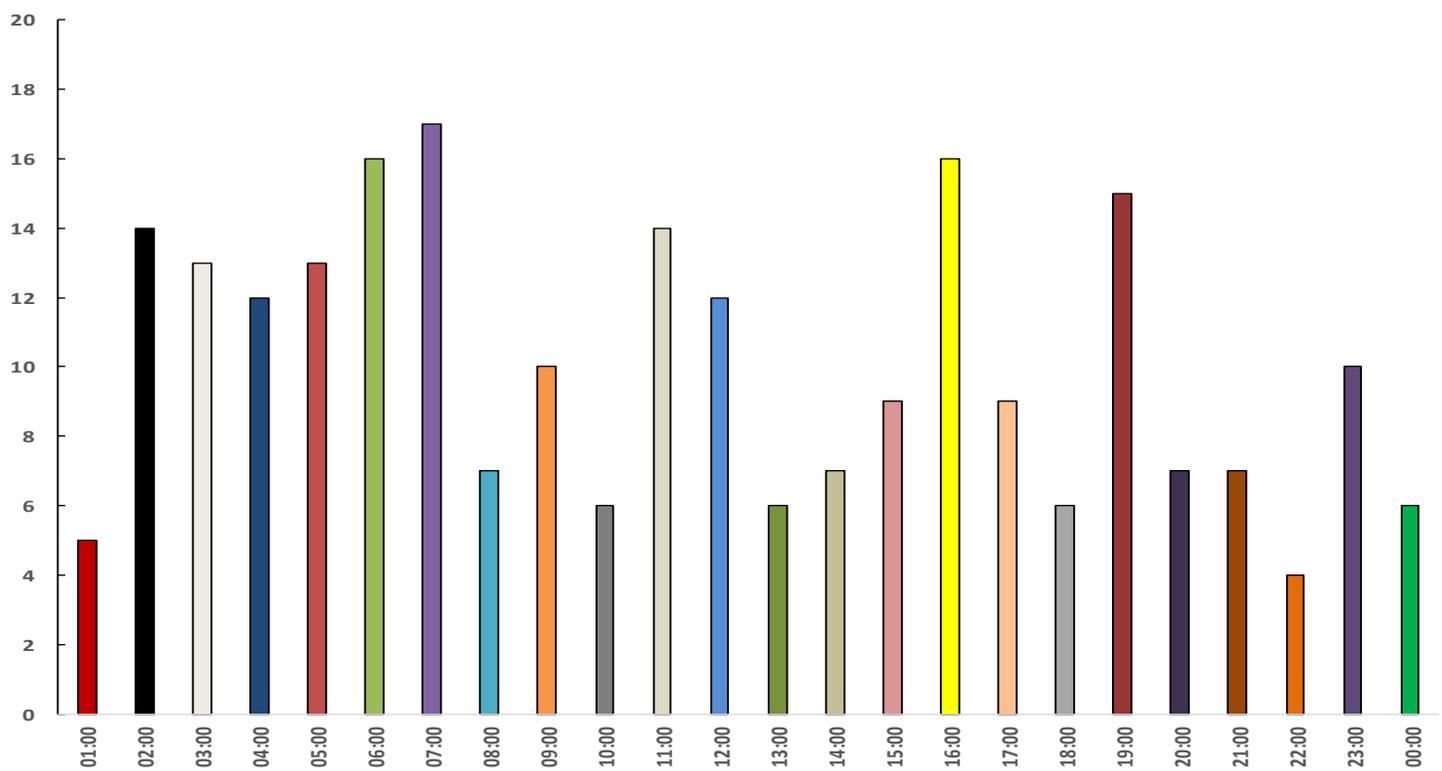


Figura 3. Variación horaria de Cupressaceae-Taxodiaceae

**Cuadro 3. Coeficiente de correlación de Spearman entre la media diaria de granos y las variables meteorológicas \*\*P<0.01, \*P<0.05**

Variables/Tipo polínico	Cupressaceae-Taxodiaceae	
	r	p
T media °C	0.027	-0.406**
T máxima °C	0.040	-0.322**
T mínima °C	0.032	-0.469**
Humedad relativa %	0.009	-0.104
Velocidad del viento Km/h	-0.017	-0.296**

### Conclusiones

El índice polínico total fue de 1878 granos de polen en el aire para el área metropolitana de Monterrey durante el período de estudio. Se identificaron un total de 31 tipos polínicos. El índice polínico total de Cupressaceae-Taxodiaceae es de 241. El análisis de correlación entre la media diaria de polen y las variables meteorológicas, muestran correlación negativa y altamente significativa entre la media diaria de Cupressaceae-Taxodiaceae con la temperatura media, máxima, mínima y la velocidad del viento.

### Referencias

Belmonte SJ y JM Roure N. 2002. Introducción. En Valero S.A.L. y A. Cadahía G. (Eds). Polinosis polen y alergia. MRA Ediciones, S.L. ISBN 84-88865-71-6. España. 7-16.

Bronillet Tarragó I. 1996. An annual study of airborne pollen in northern Mexico City. *Aerobiologia* 12(3):191-195

Calleja M and I Ferrera. 2003. Cypress: a new plague for the Rhone-Alpes region?. *Allerg Immunol* 35:92-96

Charpin D, S Boutin-Forzano and M Gouitaa. 2003. Cypress pollinosis atopy or allergy?. *Allergy* 58:383-384

Díaz de la Guardia C, F Alba, C de Linares, D Nieto-Lugilde and J López Caballero. 2006. Aerobiological and allergenic analysis of Cupressaceae pollen in Granada (Southern Spain). *J Invest Clin Immunol* 16(1):24-33.

Erdtman G. 1966. Pollen morphology and plant taxonomy (An introduction to Palynology I, Angiosperms). Hafner Publishing Company. 545

Estrada Castillón AE, JA Villarreal Quintanilla, MM Salinas Rodríguez, JA Encina Domínguez, CM Cantú Ayala, H González Rodríguez y J Jiménez Pérez. 2014. Coníferas de Nuevo León. Primera edición. Universidad Autónoma de Nuevo León. 145

Geller-Bernstein C, Y Waisel and C Lahoz. 2000. Environment and sensibilisation to cypress in Israel. *Allerg Immunol* 32:92-93

Gobierno de Nuevo León. 2008. Plan de Desarrollo Urbano de la Zona Conurbada de Monterrey. Anteproyecto para consulta Pública. Gobierno de Nuevo León, México. Gobierno de San Nicolás de los Garza (<http://www.sanicolas.gob.mx/>)

Hirst JM. 1952. An automatic volumetric spore-trap. *Ann. Appl. Biol.* 36:257-265.

Hyde HA and KF Adams. 1958. An atlas of airborne pollen grains. Mac Millan & LTD London. 111

Kapp OR, OK Davis and JE King. 2000. Pollen and spores. The American Association of Stratigraphics Palynologist. 279

Kremp GOW. 1965. Morpohologic Enciclopedia of Palinology. The University of Arizona Press, Tucson. 263

Lacey ME and West JS. 2006. The air spora. A manual for catching and identifying airborne biological particles. Springer. 156

Leal L, SN González, MC Zárate y A Arias. 2010. Prevalencia de hipersensibilidad al polen de *Cupressus* en pacientes alérgicos en Monterrey, México. *Rev Alerg Mex* 57(5):153-158

Papa G, A Romano, D Quarantino, M Di Fonso, M Viola, MC Artesani, S Sernia, M Di Gioacchino and A Venuti. 2001. Prevalence of sensitization to *Cupressus sempervirens*: a 4-year retrospective study. *Sci Total Environ* 270 (1-3):83-87

Priftanji A, E Gjebrea and A Shkurti. 2000. Cupressaceae in Tirana (Albania) 1996-1998, aerobiological data and prevalence of Cupressaceae sensitization in allergic patient. *All Immunol* 31:116-121

Rocha Estrada A, MA Alvarado Vázquez, JL Hernández Piñero, DD de León Alanís y MA Guzmán Lucio. 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

Rocha Estrada A, MA Alvarado Vázquez, TE Torres Cepeda, R Foroughbakhch-Pournavab y JL Hernández. 2004. Principales tipos polínicos presentes en el aire de la zona norte del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. *Ciencia UANL* 11 (1):70-72

Rocha Estrada A, MA Alvarado Vázquez, TE Torres Cepeda, R Foroughbakhch-Pournavab and JL Hernández Piñero. 2008. Airborne pollen of *Carya*, *Celtis*, *Cupressus*, *Fraxinus* and *Pinus* in the metropolitan area of Monterrey, Nuevo León, México. *Ann Agric Environ Med.* 15:205-209

Rodríguez F, D Fernández, A Stach and V Jato. 2010. Assessment between pollen seasons in areas with different urbanization level related to local vegetation sources and differences in allergen exposure. *Aerobiologia* 26:1-14

Ruiz de Clavijo E, C Galán, F Infante and E Domínguez. 1988. Variation of airborne winter pollen in southern Spain. *Allergology et Immunology* 16:175-179

Subiza J y Garrido-Lestache. 2004. Pólenes alérgicos en España. *Allergologia et Immunopathologia* 32(3):121-124

Villarreal Quintanilla JA y E Estrada Castillón. 2008. Listados florísticos de México. XXIV Flora de Nuevo León. Instituto de Biología, UNAM. 84

## DETERMINACIÓN DE PIGMENTOS EN HOSPEDERO-PARÁSITO (*Duranta repens* L. y *Cuscuta indecora* Choysi)

G.L. Cardiel-Torres y S. Moreno-Limón

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.morenoilm@uanl.edu.mx; biogpecardiel@gmail.com

### Resumen

Las plantas parásitas juegan un papel muy relevante en los ecosistemas. *Cuscuta* en particular, ha levantado la voz de alarma por el daño grave que está causando a nivel mundial, esto debido a las pérdidas de cultivos del entorno rural. La contribución al conocimiento de esta planta es necesaria en todas las disciplinas a fin de encontrar la manera de controlarla y, por qué no, de aprovecharla. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación por espectrometría de luz visible de hospedero-parasito *Cuscuta indecora* y *Duranta repens* bajo dos condiciones de extracción fresco y seco, de tal manera que se colectaron hojas de estas dos plantas dentro del área de Ciudad Universitaria en San Nicolas de los Garza, N.L. Se demostró que la planta parásita *Cuscuta indecora* en condición seca presento mayor concentración de carotenos que en muestra fresca, de igual manera el hospedero *Duranta repens* presento similitud en las concentraciones, mostrando que en condición seca presenta una cantidad mayor de carotenos que en la muestra fresca. Para el caso de clorofila la concentración que presento *Cuscuta indecora* en condición seca fue mayor que de forma fresca, *Duranta repens* por otra parte, tanto en seco como en fresco mostro una concentración con poca variación de clorofila ya que ambas presentaron similitudes en la concentración. Estos resultados muestran que tanto para la planta parásita como el hospedero en condiciones de extracción seca presentan una mayor concentración de pigmentos fotosintéticos.

**Palabras clave:** hospedero, parasito, clorofila, carotenos

### Abstract

The parasitic plant has a very important role in ecosystems. *Cuscuta* in particular, has raised the alarm because of the serious damage that is causing global level, this is due to the losses of rural crops. The contribution to the knowledge of this plant is necessary in all the disciplines in order to find the way to control and, why not, to take advantage of it. The objective of the present work was the evaluation for the visible light

spectrometry of the host-parasite in San Nicolas de los Garza, NL. The *Cuscuta indecora* parasitic plant was shown to have a higher concentration of carotenoids that in a fresh sample, and the host *Duranta repens* showed a similarity in concentrations, showing that in dry conditions it presents a greater amount of carotenoids that in the fresh sample. In the case of chlorophyll, the concentration presented by *Cuscuta* in dry condition was higher than in fresh form, *Duranta repens* on the other hand, both dry and fresh showed a concentration with little variation of chlorophyll since both samples showed similarities in the concentration. These results show that both the parasitic plant and the host under dry conditions have a higher concentration of photosynthetic pigments.

**Key words:** host, parasite, chlorophyll, carotenes

### Introducción

*Cuscuta* pertenece a las plantas holoparasitas, las cuales presentan una distribución cosmopolita, incluyendo unas 175 especies aproximadamente. Algunas de ellas son malezas las cuales afectan cultivos de plantas forrajeras y ornamentales, *Cuscuta* es el tercer género de plantas que ocasiona grandes daños en cuestión de pérdidas de diversos cultivos en el mundo (Welsh *et al.*, 2010). *Cuscuta* produce pérdidas económicas significativas en los cultivos de plantas incluyendo: hortalizas, cultivos forrajeros, ornamentales, frutales, plantas leñosas, en su mayoría plantas dicotiledóneas, sin embargo, también pueden afectar a algunas especies de monocotiledóneas. Otro de los temas de importancia de esta planta parásita es su poca investigación a nivel fisiológico, unos de los temas que en cuestión que se ha mencionado poco, es si esta planta parásita cuenta con pigmentos fotosintéticos o no, los cuales como

ya sabemos tienen la función primordial de absorber energía lumínica, la cual depende en gran medida de la concentración de clorofila y de otros pigmentos accesorios, además obviamente de la cantidad de luz disponible y de la calidad de esta.

La determinación de clorofilas y carotenoides de *Cuscuta* es, frecuentemente, un dato necesario en un análisis foliar. Existen casos como el que nos menciona en su informe Zimmermann (1962) que la planta parásita *Cuscuta* es clorofilica y podría inducirse a crecer de forma autótrofa en laboratorio. La cuantificación de estos pigmentos, en la mayoría de los casos, se realiza aplicando unas ecuaciones en las que se hacen intervenir los coeficientes de extinción y las absorbancias medidas, en el extracto de hojas, a longitudes específicas, además de los análisis de diferentes parámetros fotosintéticos, como la ultraestructura del cloroplasto, los contenidos de pigmentos fotosintéticos, la fotoquímica (actividades de transporte de electrones de los fotosistemas PS1 y PS2) y la actividad de ribulosa 1, 5-bifosfato carboxilasa / oxigenasa (RuBPCO) sugieren la posibilidad de fotosíntesis en el parásito. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido de pigmentos de muestras vegetales de *Cuscuta indecora* y su hospedero *Duranta repens* en condiciones fresca y seca y así contribuir al conocimiento sobre la actividad fotosintética de esta especie de planta parásita.

## **Materiales y Métodos**

### **Material biológico**

En Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma de Nuevo León en el municipio de San Nicolás de los Garza, N. L., se realizó la colecta cerca del mes de septiembre del 2018 muestras foliares de la planta parásita *Cuscuta indecora*, así como de su hospedero *Duranta repens*, tomando las hojas de cada planta, así mismo un parte de este material fue conservado fresco mientras que la otra se secó a temperatura ambiente (Figura 1).

## **Determinación de pigmentos**

Para la determinación de pigmentos se tomó un gramo de la muestra macerada de forma fresca y otro gramo de muestra seca cada una por separado, estas muestras fueron maceradas en un mortero, luego se realizaron dos filtrados de la muestra en (papel Whatman No. 4), se aforaron a 25 mil con acetona al 80%. A partir de las soluciones obtenidas, se tomaron 5mL de cada una de las muestras y se realizaron lecturas de absorbancia por triplicado en el espectrofotómetro (Spectrophotometer BioMate TM 3) en longitudes de onda; 648nm-663nm para clorofila (Godwing, 1976), 480nm-750nm para carotenos totales (Britton, 1985), 450nm-508nm para carotenos amarillos y rojos (Fekete *et al.*, 1976). Una vez obtenidos los datos de absorbancia del hospedero-parásito se prosiguió a realización de los cálculos, utilizando las siguientes formulas:

### **Carotenos (A) Y (R) (Fekete et al., 1976)**

CA= (A450)/peso muestra(g) CR=(A508)/peso de muestra (g)

**b** CA= (0.264)/2g=0.132 CR=(0.075)/2g =0.0375

### **Carotenos totales**

CT (g/L)=(A480-A750)\*vol. Ext.(mL)(100\*E1cm1%)\*(vol. Filtrado L)

Donde: E1cm1%=2500(100mL g-1 cm-1) coeficiente de extinción específico para los carotenoides totales a 480nm.

Contenido de grupos de carotenos= Absorbancia del extracto de cada muestra (Ab)/ peso seco de la muestra en gramos. Donde C= a la concentración de carotenos (R) o (A).

### **Determinación de clorofila (mg/g)**

CLOROFILA mg/g

Clorofila total= (20.2)(A648)+(8.02)(A663)

Clorofila  $\alpha$ = (12.7)( A663)+(2.69)( A648)



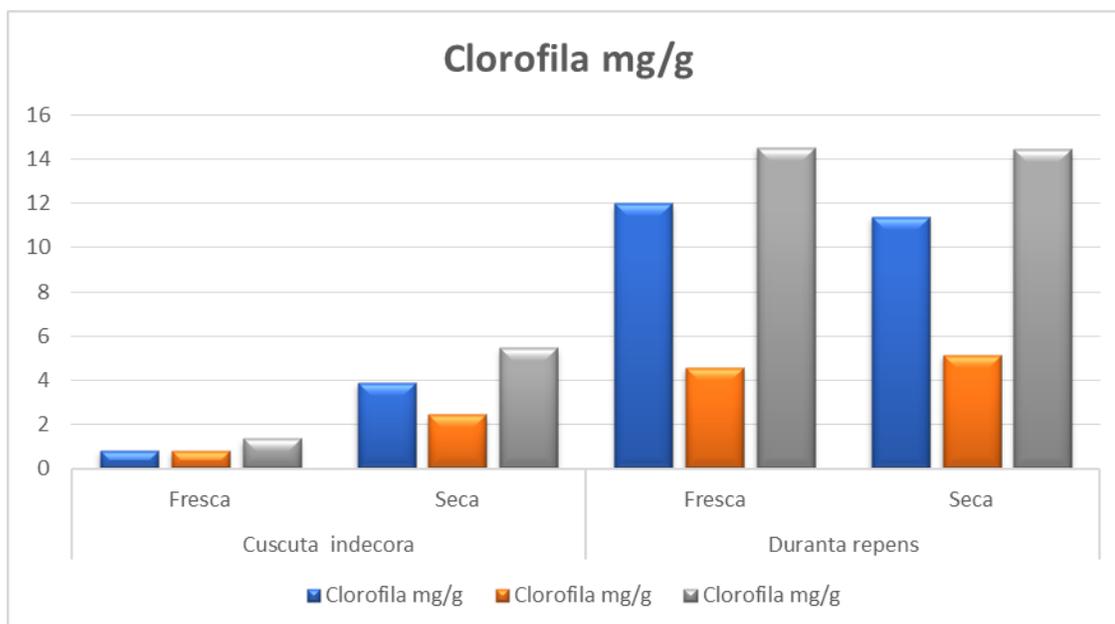
Figura 1. *Duranta repens*, parasitada por *Cuscuta indecora*, en los Jardines de Ciudad Universitaria UANL

Clorofila  $\beta = (22.9)(A648) - (4.68)(A663)$

### Resultados y Discusión

*Cuscuta sp.*, no es un parásito absoluto, pues retiene cierta cantidad de clorofila en semillas, yemas, frutos e incluso en el tallo. La existencia de clorofila en *Cuscuta* y otros parásitos es una prueba de que los antepasados de estas plantas poseían clorofila normal y eran autotróficos (Wilson y Loomis, 1968). Los resultados obtenidos en el análisis por espectrometría denotan que en muestras secas se presenta un índice significativo de pigmentos fotosintéticos a comparación de las muestras frescas en ambas especies, sin embargo al separar la planta parásita de su hospedero se observó que *Cuscuta indecora* a pesar de ser una parásita que carece de pigmentos fotosintéticos como muchos autores mencionan los resultados que se obtuvieron demuestran lo contrario (Figura 2), *Cuscuta* presentó cantidades en cloro-

fila a de 0.82 mg/g en muestra fresca, en clorofila b 0.81 mg/g y se obtuvo una mayor cantidad en muestra seca con 3.90 mg/g de clorofila a y 2.43 mg/g de clorofila b. Así mismo estos resultados obtenidos van de la mano con los presentados por, (Zimnermann, 1962; Pizzolongo, 1964 y Laudi *et al.*, 1974) los cuales demuestran la presencia de una cantidad apreciable de clorofila en el tejido del tallo joven de *Cuscuta*. Posteriormente, se han reportado cuantificaciones de clorofila a, clorofila b, carotenoides y xantofilas en *Cuscuta reflexa* demostrando que la proporción de clorofila a/b durante el alargamiento de una rama joven que crece rápidamente en el huésped aumenta (Panda y Choudhury, 1992; Sahu y Choudhury, 1997). La proporción de clorofila a/b en las plantas cultivadas en el campo es más alta que en las ramitas cultivadas en laboratorio (Sahu, 1997). Por lo tanto, el cultivo de *Cuscuta* en campo y expuesto a la irradiación natural sufre foto-



**Figura 2. Valores promedio de clorofila en muestra seca y fresca de las dos especies hospedero-parasito *Cuscuta indecora* y *Duranta repens***

destrucción de los pigmentos, especialmente de clorofila b, y posiblemente también de otros pigmentos (Lichtenthaler *et al.*, 1989, Demmig-Adams, 1990, Choudhury *et al.*, 1994, Webb y Melis, 1995, Preiss y Thornber, 1995).

Respecto al contenido de carotenoides (Figura 3), el mayor contenido fue de 0.48 g/L en carotenos rojos de las muestras secas de la planta hospedera *Duranta repens* y 0.47g/L en las muestras secas de *Cuscuta indecora*, mientras que en las muestras frescas de ambas plantas fue de tan solo 0.46 g/L esto. Los carotenos amarillos representaron 0.08 g/L en *Duranta* y 0.13 g/L en *Cuscuta* en las muestras secas mientras que las muestras frescas de *Duranta* registran 0.07 g/L y de *Cuscuta* representa tan solo 0.05g/L. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Macleod (1961) y Baccharini (1966), quienes han demostrado que el contenido de carotenoides en *Cuscuta reflexa* es comparable a la cantidad en las hojas de plantas autótrofas. Así también se informó la presencia de cantidades similares de  $\alpha$ -,  $\beta$ -carotenos y xantofilas en *Cuscuta reflexa* y plantas no parasitarias. La cromatografía líquida de alta presión detectó  $\beta$ -caroteno, zeaxantina, neoxantina, violaxantina, luteína, etc. en las ramas de *Cuscuta* cultivadas en el campo. Los contenidos de  $\beta$ -

caroteno, luteína, violaxantina y neoxantina (pero no zeaxantina) aumentaron significativamente después de la incubación de las ramitas en laboratorio (Sahu, 1997).

Los resultados de esta investigación coinciden con el análisis realizado a *Cuscuta reflexa* donde los mayores contenidos de clorofila y carotenos se encontraron en condiciones de extracción en muestra analizadas en el laboratorio. Este comportamiento considera que *Cuscuta indecora* ha evolucionado en condiciones de parásita obteniendo el mayor beneficio respecto a nutrientes, diversos metabolitos, pigmentos etc., de su planta hospedera que este caso este caso *Duranta repens*. Por lo que es necesario entender las adaptaciones estrategias morfológicas, anatómicas y/o fisiológicas de esta planta en específico, para así buscar obtener un beneficio económico en lugar de buscar una manera de control o erradicación de esta planta parásita.

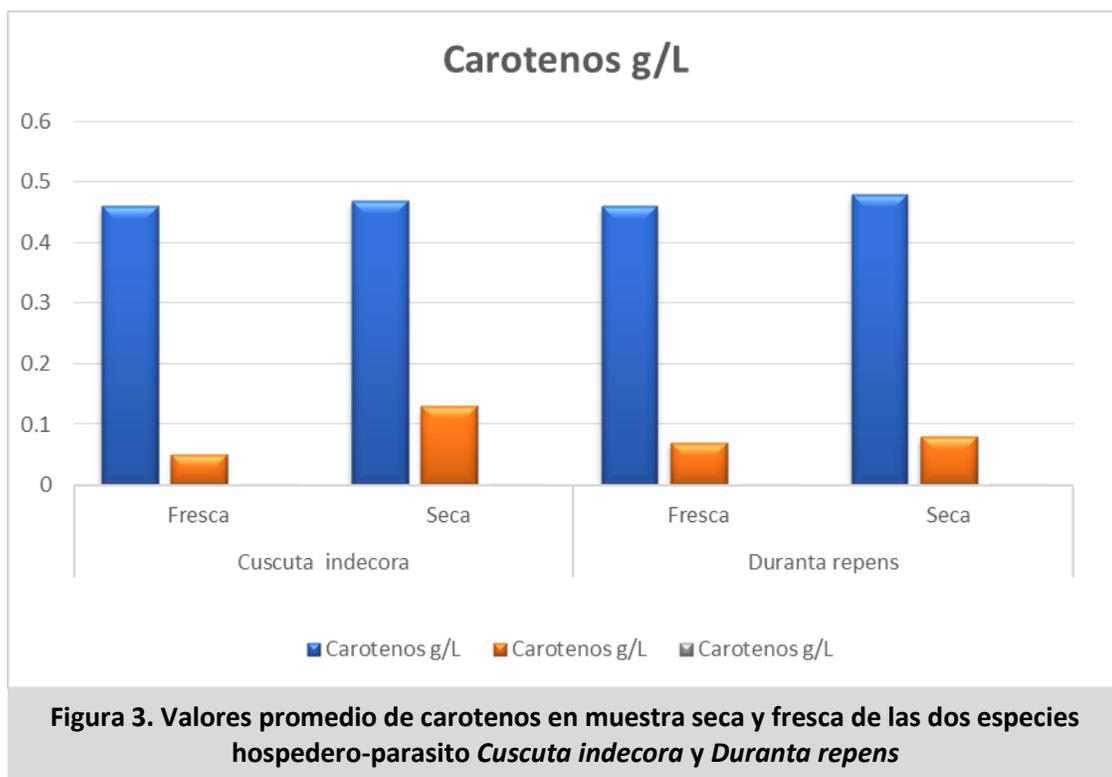
Este comportamiento considera que *Cuscuta indecora* ha evolucionado en condiciones de parásita obteniendo el mayor beneficio respecto a nutrientes, diversos metabolitos, pigmentos etc., de su planta hospedera que este caso este caso *Duranta repens*. Por lo que es necesario entender las adaptaciones estrategias morfológicas, anatómicas y/o fisiológicas de esta planta en específico, para así buscar obtener un beneficio económico en lugar de buscar una manera de control o erradicación de esta planta parásita.

### Conclusiones

Al término de la evaluación por espectrometría de luz visible de hospedero-parasito es de suma importancia considerar que la especie parásita *Cuscuta indecora* es causante de pérdidas a nivel mundial en cultivos agroeconómicos, por lo que es necesario, realizar análisis más profundos de esta especie parásita en particular, para buscar maneras de control y por qué no de aprovechamiento alimenticio, agrícola e industrial.

### Referencias

- Baccharini, A. (1966). Autotrophic incorporation of C-14-O<sub>2</sub>, in *Cuscuta australis* in relation to its parasitism. *Experientia* 22:46-47.
- Bidwell, R.G.S. (2002). *Fisiología Vegetal*. México, D.F.. AGT Editor S.A. pp.670.



**Figura 3. Valores promedio de carotenos en muestra seca y fresca de las dos especies hospedero-parasito *Cuscuta indecora* y *Duranta repens***

Carl L. Wilson y Walter E. Loomis. (1968). Botánica. México, D.F. Unión tipográfica Editorial Hispano-Americana. Pp. 118

Choudhury N. K. y Sahu D. (1999). Photosynthesis in *Cuscuta reflexa*: A total plant parasite. Sambalpur, India. Kluwer Academic Publishers. Laboratory of Biochemistry and Biophysics, School of life Sciences, Sambalpur University. Pp. 2-4.

Choudhury, N.K., Aslam, M., Huffaker, R.C. (1994). Photochemical activities in wheat chloroplasts incubated under irradiation and possible photoprotection by zeaxanthin. - Photosynthetica 30: 397- 405.

Demmig-Adams, B. (1990). Carotenoids and photoprotection in plants: A role for the xanthophyll zeaxanthin. - Biochim. biophys. Acta 1020: 1-24.

Fekete M, Kozmal L, Huszka T. (1976). Spectrophotometric method for determining the pigment content of ground paprika. Z. Lebensm Unters Forsch. No. 161:313.

Godwing TW. (1976). Chemistry and biochemistry of plants pigments. Vol. 1&2. Academic Press Inc. New York. USA

Janardhanarao, G., Bharti, S., Laloraya, M.M. (1984). Photosystems of *Cuscuta santapaui* Banerji & Das chloroplasts. - Photosynthetica 18: 596-599.

Laudi, G., Bonatti, P.M., Fricano, G. (1974). Ultrastructure of plastids of parasitic higher plants. V. Influence of light on *Cuscuta* plastids. - Isr. J. Bot, 23: 145-150.

Lichtenthaler, H.K., Rinderle, U., Haitz, M. (1989). Seasonal variations in photosynthetic activity of spruces as determined by chlorophyll fluorescence. Ann. Sci. forest. 46: 483-489.

Machado, M.A., Zetsche, K. (1990). A structural, functional and molecular analysis of plastids of the holoparasites *Cuscuta reflexa* and *Cuscuta europaea*. Planta 181:91-96.

Macleod, D.G. (1961). Photosynthesis in *Cuscuta*. - Experientia 17: 542-543.

Macleod, D.G. (1962). Photosynthesis in *Cuscuta*. - New Phytol. 62: 257-259, 1962.

Panda, M.M., Choudhury, N.K. (1992). Effect of irradiance and nutrients on chlorophyll and carotenoid content and Hill reaction activity in *Cuscuta reflexa*. Photosynthetica 26: 585-592.

Panda, M.M., Choudhury, N.K. (1992). Effect of nutrients on chlorophyll content and photochemical activities by isolated chloroplasts of *Cuscuta reflexa*. Plant Physiol. Biochem. 19: 6-10.

Pizzolongo, P. (1964). [On ultrastructure of shoots of *Cuscuta pentagona*. Stage of parasitic life.] - Delpinoia 6: 3-22. [In Ital.]

Preiss, S., Thornber, J.P. (1995). Stability of the apoprotein of light harvesting complex 1 and 11 during biogenesis of thylakoids in the chlorophyll-b less barley mutant chlorina F-2. Plant Physiol. 107: 709-717.

Sahu, D., Choudhury, N.K. (1997). Photosynthesis in *Cuscuta reflexa*: An angiosperm holoparasite. Adv. Plant Sci. 10: (in press).

Sahu, D. (1997). Pigment Content and Photochemical Activities of *Cuscuta reflexa*. Ph.D. Thesis. Sambalpur University, Sambalpur.

Webb, M.R., Melis, A. (1995). Chloroplast response in *Dunaliella salina* to irradiance stress. Plant Physiol. 107: 885-893.

Welsh, M.; S. Stefanovic y M. Costea. (2010). Pollen evolution and its taxonomic significance in *Cuscuta* (dodders, Convolvulaceae). Plant Systematic Evolution

Zimmermann, C.E. (1962). Autotrophic development of dodder (*Cuscuta pentagona*) in vitro. Crop Sci. 2: 449-450.

## EL FRESNO *Fraxinus berlandieriana* DC., UNA ESPECIE DEL NORESTE DE MÉXICO NO RECONOCIDA COMO NATIVA EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN

M.A. Guzmán-Lucio\*, A. Rocha-Estrada, M.A. Alvarado-Vázquez, J.A. Gallegos-López

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

### Introducción

El fresno o fresno común como se le conoce en la región a los árboles de la especie *Fraxinus berlandieriana* en el noreste de México, quizás en la actualidad es la especie ornamental más común, abundante e importante de la planicie costera del estado de Nuevo León, aunque no existe a la fecha un documento con ese alcance que lo avale, de los habitantes del área metropolitana de Monterrey, ¿quién no ha estado en alguna colonia o área verde pública o privada de los municipios que la integran, y aún visitar las de otros municipio del estado de Nuevo León y encontrar uno o varios árboles de fresno en su camino? Aunque en la literatura se puede encontrar gran cantidad de trabajos sobre plantas nativas ornamentales reconocidas como tales y otras propuestas con potencial para ese uso en la metrópoli de Monterrey, no hay un documento que proponga a esta especie, asevere que lo es, o clasifique como especie nativa o pretendan hacerlo de manera implícita pero sin denotarlo.

El registro de la especie en la región proviene de muestras colectadas por el Francés Jean Louis Berlandier en los años 1826-1834 en el sur de Texas y noreste de México. Como discípulo de Agustín Pyramus Decandolle, se facilitó su visita a México para coleccionar plantas y animales, tomar notas ambientales y enviarlas de regreso a la Universidad de Ginebra, Suiza. Su asignación para el estudio informativo en la comisión de límites de la frontera entre Méxi-

co y Estados Unidos estuvo a cargo de del General Manuel Mier y Terán. (Campbell, T.N., 1983). Su descripción botánica como nueva especie es descrita por De Candolle (1844) en su magna obra *Prodromus sistematice naturalis regni vegetabilis*, con origen de la colecta en la Provincia de Tamaulipas, Villa de Austin en Texas, a orillas del Río de Las Nueces. Corroborado por Nesom (2010) el espécimen tipo/Lectotipo corresponde al ejemplar No. 2012 y Berlandier como legítimo colector.

En Nuevo León contrario a lo esperado en el registro para la flora de Nuevo León escrito por el Dr González "Gonzalitos" (1888), en su discurso y catálogo de plantas clasificadas que serviría para elaborar con base en registros del área metropolitana de Monterrey y sus inmediaciones la flora del estado de Nuevo León, solamente incluye al fresno *Fraxinus alba*, una especies con distribución en la parte norte de Nuevo León, Coahuila al igual que en la porción centro-norte de Texas, pero no a *Fraxinus berlandieriana*.

El propósito de la presente investigación fue reunir y revisar documentación del entorno regional sobre la vegetación y especies del área para indagar el registro y estatus del fresno como especie nativa, y en caso de estar citada únicamente como especie introducida, proporcionar elementos históricos de respaldo desde el punto de vista histórico-taxonómico-biogeográfico que demuestren que es nativa del estado de Nuevo León.



Figura 1. *Fraxinus berlandieriana* especie ornamental en fructificación

## Material y Métodos

Mediante búsqueda exhaustiva en documentos impresos y digitales y consulta de herbario, se rastrea en el tiempo el reporte de la presencia de la especie para el área metropolitana de Monterrey y en general para el estado de Nuevo León. Dado que su presencia (No como especie nativa) es constatada y reconocida por la mayoría de los pobladores del área metropolitana de monterrey, también en el sur de Texas (Si reconocida como especie nativa de México). De investigadores de universidades y centro de investigación, se consideran sus obras en donde se difunde el uso actual o potencial de la especie, generalmente relacionado como planta ornamental introducida en la región. Consulta en físico del herbario UNL y virtuales en el TEX-LL de los espécime-

nes de *Fraxinus berlandieriana*. Su identificación y depósito del espécimen 030223 en el herbario UNL (Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León) como referencia. Registros del Herbario de la Universidad de Texas en Austin, EUA conexión-Remib-Conabio sirven de referencia para corroborar la distribución en México de la especie a la que se refiere este estudio.

## Resultados y Discusión

### Sobre el reconocimiento y estatus del fresno

De la clasificación y análisis de los documentos accesibles en primer término se incluyen aquellos en donde no se cita o reconoce que la especie *Fraxinus berlandieriana* tiene una distribución en el estado

de Nuevo León, en segundo aquellos en donde se indica las especies nativas sin mencionar al fresno que sería una especie introducida, y en tercer lugar aquellos que recomiendan otras especies con potencial pero no a *F. berlandieriana* por considerarse de carácter introducido, y en cuarta instancia aquellos que la incluyen como una especie silvestre o autóctona pero sin enfatizar en su estatus.

De casi mitad del siglo XX el estudio descriptivo de Muller (1939) sobre las relaciones que tiene la vegetación de acuerdo a los tipos climáticos del estado de Nuevo

León, presenta descripciones de los tipos de vegetación que más que relación con los tipos climáticos presentes en el área, los asocia a regiones del estado que en el nombre del tipo tienen más que ver con la fisiografía que con el clima, estos son a) Central plateau desert scrub, :b) Eastern coastal plain scrub, c) Piedmont scrub, d) Montane low forest, e) Montane mesic forest, f) Western montane chaparral, g) Subalpine húmid forest, h) Alpine meadow and timberline. El tipo de vegetación de interés para asociar a nuestra especie problema es Eastern coastal plain scrub, en donde en su vegetación riparia se mencionan especies como el nogal *Carya pecan*, sabino *Taxodium mucronatum*, sauce *Salix nigra*, olmo *Ulmus crassifolia*, palo blanco *Celtis mississippiensis*, y *Acer serratum*, pero no al fresno como especie asociada.

A finales del siglo XX Rojas (1965) y (Alanís et al., 1996) inician con datos sobre la síntesis de los tipos de vegetación y flora de Nuevo León, coincidiendo ambos autores en que la vegetación riparia tiene como especies dominantes en la región de la Planicie Costera a *Taxodium mucronatum*, *Platanus occi-*



Figura 2. A la derecha árboles jóvenes de *Fraxinus berlandieriana* en el Río Santa Catarina

*dentalis* (Actualmente *P. rzedowski*), *Salix nigra* y otras especies asociadas en donde falta *Fraxinus berlandieriana*, excepto en la lista de especies de Rojas en donde se indica que el fresno es una planta cultivada y ornamental.

Ya en el siglo XXI bien representada la flora en los herbarios y el uso de fuentes bibliográficas electrónicas y disponibilidad de sitios web con información sobre plantas, Villarreal y Estrada (2008) recopilan una lista florística para Nuevo León, con 3175 especies y 109 taxa infraespecíficos, entre ellas el fresno *Fraxinus berlandieriana* con presencia en el municipio de Monterrey y de Sabinas Hidalgo. Una vez que se analiza se puede verificar que para las especies no se asigna un estatus a plantas nativas, introducidas y naturalizadas.

El concepto de especie nativa-introducida empieza a tomar relevancia para la flora de las áreas verdes del área metropolitana de Monterrey y también de la composición de especies de arbolado y su predominancia, como lo indica Maldonado (1983) en (Alvarado et al., 2010) menciona que para esa época las principales especies arbóreas utilizadas son el

fresno, trueno, alamillo, jacaranda, canelo, araucaria, árbol del hule y magnolia, pero que sin embargo se destaca que la mayoría de esas especies tienen altos requerimientos de agua, recurso limitado en Monterrey y sus alrededores, por lo que recomienda especies que prosperan satisfactoriamente en la región sin ningún tipo de mantenimiento (riego y podas) tales como el mezquite, huizache, retama, tabachín, palo verde, mimbre y anacua. Dejando entrever que las primeras especies señaladas con alto requerimiento de agua incluyendo al fresno, no evolucionaron con la flora de carácter semiárido y por lo tanto son especies introducidas.

Rocha (1994) y (Rocha et al., 1998) en su trabajo sobre el inventario de las especies utilizadas como ornamentales en las áreas verdes urbanas en plazas, parques y jardines públicos de la ciudad metropolitana de Monterrey (AMM), en donde de las 137 especies encontradas 32 son árboles, y reconoce que en orden de predominancia de individuos de las especies el fresno, trueno y canelo, son las especies más frecuentes. Estos resultados corroboran que el fresno es la especie más importante en el arbolado del área metropolitana de Monterrey y se debe tener especial atención al fenómeno de fresnización ocurrido en la ciudad.

A partir del año 2000 ya se tiene un conjunto de documentos que tienen bien en claro cuáles especies son reconocidas como especies nativas e introducidas, en donde se presentan listas y recomiendan determinadas especies nativas como las de Alanís (2005) sobre el arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. También Zurita y Elizondo (2009). Más recientemente el de Saldívar (2017) también con los árboles recomendados para la ciudad conurbada de Monterrey.

De la revisión de las especies ya utilizadas como ornamentales en el AMM se explora entre la vegetación nativa del estado para proponer nuevas especies con potencial para su uso en el AMM como es el caso de (Alvarado et al., 2010) quienes extienden

y circunscriben la lista a nivel estatal, proponiendo 40 especies nativas de diversas formas de vida.

Reconocido en su carácter como especie nativa es posible observar en documentos como el de Havard (1885) pero la reconoce como una variedad de *Fraxinus viridis* var. *berlandieriana* con nombre común Green Ash, a quien observa establecida en ríos y arroyos de la región sur de Texas, en zona de valles específicamente en el San Antonio, Nueces, también el de Pecos. Se retoma su nombre como *Fraxinus berlandieriana* con el que se describió originalmente por De Candolle. En el trabajo de Van Dersal (1938) en donde el autor describe las plantas leñosas de los Estados Unidos con valor en el control de la erosión y también por (Everitt et al., 2002), quienes en el nombre común que manejan para la especie (Mexican Ash y Fresno del Río Grande) circunscriben a la especie al territorio Mexicano. El estatus como planta nativa queda de manifiesto en "Catalogo preliminar de las especies de árboles silvestres de la Sierra Madre Oriental", libro presentado por (Rzedowski, 2015) en donde su nombre común "Fresno" lo asocia con distribución en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí.

#### **Distribución en Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas**

Para Nuevo León, de los especímenes revisados en el herbario UNL se tiene registros foliados para Allende (015038 como ornamental), Lampazos (015319, 015320, 015321 en vegetación riparia), Monterrey (027273, 027274, 027275, 027276 como ornamental). Especímenes registrados en el Herbario de la Universidad de Texas en Austin, EUA (LL,Tx) portados por el TEX incluyen Monterrey (Área de disturbio), (00156771 en cañones húmedos y bancos de arroyos), Las Tortillas (00156773), Sabinas Hidalgo (00156782)

Especímenes registrados en el Herbario de la Universidad de Texas en Austin, EUA (LL,Tx) reportados

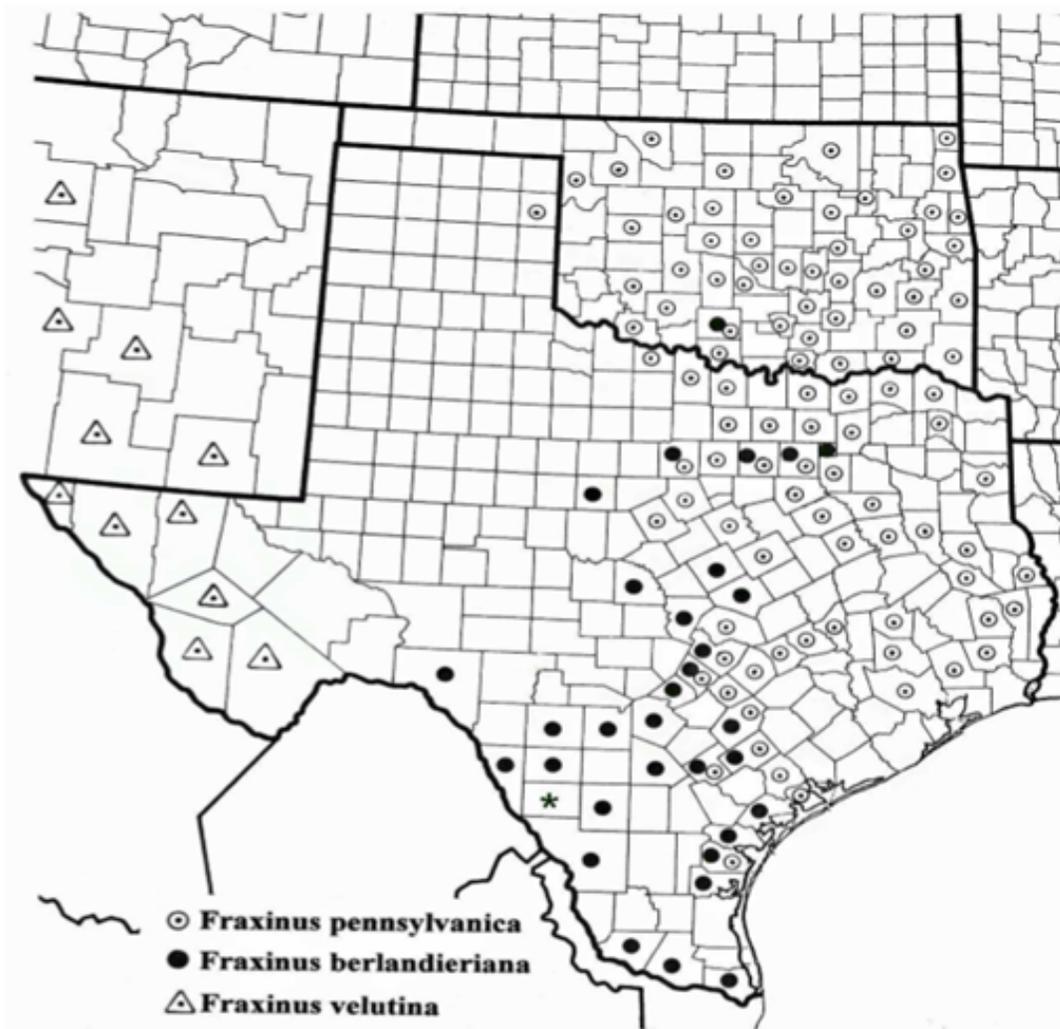


Figura 3. Distribución en Texas de *F. berlandieriana* de acuerdo a Nesom (2010)

por el TEX incluyen para Coahuila localidades como Acuña (00156772 Cañones de El Río Grande, ripario común localmente) Sierra El Carmen (00156764, Arroyo El Centinela), Sierra Maderas del Carmen (00156765 en Bosque de *Pinus cembroides*), Cuatro Ciénegas (00156766, 00156769), Villa Juárez (00156767), Estación General Cepeda (00156774 a lo largo de arroyo), Parras (00156776 con *Celtis*, *Salix*, *Populus*, *Baccharis*, *Acacia*), Sacramento (00156777 cerca de canal de irrigación), Múzquiz (00156779). Para Tamaulipas en Nuevo Laredo (001567768, 00156778, sobre calle). Para San Luis Potosí en Ciudad Valles (00156781 en banco de río).

### Identificación

De acuerdo con Nesom (2010) la especie puede ser reconocida por portar una hoja compuesta con 3 a 5 folíolos coriáceos a subcoriáceos de 5 a 9.5 cm de longitud aunque en algunos de 4 cm por 2 a 4 cm de ancho y a veces de hasta 1.5 cm, márgenes gruesamente y fuertemente serrados de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{2}{3}$  distalmente, sámaras mayormente bi-aladas pero a menudo tri-aladas también presentes en el mismo árbol, alas de la sámara gradualmente expandiéndose desde la base o a  $\frac{1}{3}$  distal del cuerpo y flanqueándolo gradualmente hasta la parte más distal la parte distal para luego estrecharse nuevamente hacia el eje central del fruto. De Juana-Clavero (2014) para la hoja en su total largo (no los folíolos) indica que



Figura 4. Floración con flores pistiladas y hojas jóvenes en desarrollo



Figura 5. Floración con flores masculinas y hojas jóvenes en desarrollo

puede alcanzar longitudes de 7.5 a 17.5 cm, con peciólulos de 3 a 3.5 cm. De los especímenes observados algunos se muestran con diferencias en la vestidura de la hoja, folíolos, pedúnculos, pedicelos y parte proximal de la sámara ya que pueden ser de condición glabra o por presentar pubescencia pubérula.

#### Usos del fresno *Fraxinus berlandieriana*

Además de su uso como planta ornamental se citan

otros usos como el de planta medicinal por parte de González Ferrara (1998) para *Fraxinus americana* quien describe las plantas utilizadas como medicinales en el noreste de México en donde las hojas del fresno se utilizan para el dolor de cabeza e insolación y (González et al., 2010) en su lista de flora útil de Nuevo León considera a *F. berlandieriana* con uso medicinal. Seguramente en el caso de González Ferrara la especie de fresno a la que se refiere es *F. berlandieriana* ya que *F. americana* de acuerdo a nuestra experiencia no se encuentra en el AMM pero en algún momento se le ha considerado con ese nombre. Además de medicinal Everitt et al., (2002), lo encuentran útil como lugar de anidación de varias especies de aves y confirman que es ampliamente plantado en la región sur de Texas.

#### Conclusión

Del análisis de la información documentada y analizada se tienen argumentos suficientes para reconocer al "fresno" *Fraxinus berlandieriana* como una especie nativa del noreste de México y centro-sur del estado norteamericano de Texas. Que el hecho de que histórica y taxonómicamente los territorios del norte de la Nueva España fueron conciliados y que mediante la Ley de Colonización dispuestos para su colonización fue aprobada el 28 de junio de 1821 como se cita en párrafo del texto con tema: Colonización y pérdida de Texas con visto bueno del Senado de la República y el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM publicado en 2010, de manera indirecta y considerando que también el disturbio en la región no era aún notable, la vegetación y especies encontradas en ese tiempo por Berlandier se encontrarían en estado prístino o al menos no serían de reciente introducción a su llegada por tenerse árboles maduros de fresno es una prueba de su estatus nativo. Taxonómicamente en con-

secuencia por ser una especie descubierta y ya establecida en el tiempo de inicio de la colonización prueba que no es especie introducida.

Su circunscripción única de representantes de las poblaciones restringidas de la especie en todas las clase de registro de herbarios y fuentes informativas y su delimitación en el noreste Mexicano señaladas en documentos específicos de la especie con límites en donde se originan otras especies determinan que solo ahí se encuentra y constituyen un límite biogeográfico y que refuerzan el estado nativo. Que en cuya cercanía de contacto influyen en la variabilidad observada para la vestidura de la hoja, pedúnculos, pedicelos o parte inferior de la sámara, como es el caso de *Fraxinus velutina* y *F. albicans* especies colindantes que seguramente intergradan con *F. berlandieriana* y son responsables de la presencia y ausencia de la corta pubescencia. Sin duda es necesario efectuar un estudio a nivel molecular para determinar el grado de intergradación, similitud, mezcla y pureza de muestras en distintas poblaciones del estado.

El nombre dado por botánicos Estadounidenses en donde claramente, sin prejuicio y sin distinción nominan al fresno en su idioma inglés con el calificativo de Mexican Ash asevera su relación geográfica en México. Es una especie conocida en ambientes urbanos pero en origen proviene de ecosistemas riparios formado parte de la vegetación arbórea.

## Referencias

Alanís F. G.J., Cano y C. G, Rovalo M. M. 1996. Vegetación y flora de Nuevo León. Una guía botánico ecológica. Impresora Monterrey. 251 pp.

Alanís F. G.J. 2005. El arbolado urbano en el área metropolitana de Monterrey. Ciencia UANL. Vol. 8(1): 1-32.

Alvarado V. M.A., Rocha E. A., Guzmán L. M.A., Foroughbakhch P. R., Alanís F. G. 2010. Plantas nativas de Nuevo León con valor ornamental. En Alvarado V. M.A., Rucha E. A. y Moreno L. S. De la lechuguilla a las biopelículas vegetales. Las plantas útiles de Nuevo León. U.A.N.L. pags. 571-594.

Campbell T.N. 1983. Journey to Mexico during the years

1826 to 1834: A review. The Southwestern Historical Quarterly. Vol. 86(3):401-412

De Juana C. J.I. 2014. Clave para la identificación de especies del género *Fraxinus* (Oleaceae) en su taxonomía actual. *Bouteloua*. 19:141-154.

Everitt J.H., Drawe D.L., and Lonard R.I. 2002. Trees, shrubs and cacti of south Texas. Texas Tech Inversity Press. Texas U.S.A. 249 pp.

González J.E. 1888. Un Catálogo y un discurso del Doctor Eleuterio González. La flora de Nuevo León. Imprenta Católica, Monterrey, México.

González F. M. 1998. Plantas medicinales del noreste de México. Editora El Sol S.A. DE C.V. Monterrey, México.128 pp.

González de la R. M. del C., Foroughbakhch P. R., Guzmán L. M.A. y Cadena L. S.M. 2010. Flora útil de Nuevo León. De la lechuguilla a las biopelículas vegetales. Las plantas útiles de Nuevo León. U.A.N.L. pags. 613-646.

Maldonado L.J. 1983. Las especies ornamentales de la ciudad de Monterrey, N.L. Memorias de la 2ª. Reunión Nacional sobre ecología, manejo y domesticación de las plantas útiles del desierto. Instituto nacional de Investigaciones Forestales. Publicación especial. 43:111-112.

Muller C.H. 1939. Relations of the vegetation and climatic types in Nuevo Leon, Mexico. The American Midland Naturalist. (21):667-729

Nesom G.L, 2010. Taxonomic notes of *Fraxinus berlandieriana* and *Fraxinus velutina* (Oleaceae). Phytoneuron. 2010 (349):1-8

Rzedowski J. 2015. Catálogo preliminar de las especies de árboles de la Sierra Madre Oriental. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XXX: 1-375

Rojas M. P. 1965. Generalidades sobre la vegetación de Nuevo León y datos acerca de su flora. Tesis Doctoral UNAM. 124 PP.

Saldivar C. A. 2017. Los árboles en el área metropolitana de Monterrey. En arbolado urbano, aves y polinizadores en el entorno de la ciudad. Fondo Editorial de Nuevo León. Pags. 89-102

Van Dersal W.R. 1938. Native wood plants of the United States, their erosion-control and wild life values. United States Department of Agriculture. Miscellaneous publication (303):1-362.

Villarreal Q. J.A. y Estrada C. E. 2008. Listados florísticos de México. Flora de Nuevo León. Instituto de Biología, UNAM. 152 PP.

Zurita Z. O. (2009) Guía de árboles y otras plantas nativas en la zona metropolitana de Monterrey. Las plantas nues-

## EL CICLO VITAL DE *Cycas revoluta* Thumb EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY N.L.

F. Elizondo-Silva<sup>1</sup> y A.M. Gómez-Bermudez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Preparatoria No. 7, UANL

<sup>2</sup>Estudiante de 9o Semestre de la carrera de Biólogo, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL

### Aspectos generales de *Cycas*

Las plantas de la especie *Cycas revoluta*, reportada por primera vez en 1782, son gimnospermas semi-leñosas que pertenecen a la familia Cycadaceae que comprende 98 especies y se encuentran en el grupo de plantas vasculares más antiguas, con origen en la era Mesozoica, por lo que son llamadas “fósiles vivientes”. Proceden de las islas Ryu Kyu y el sur de Kyushu en Japón, actualmente está distribuida principalmente en América, África, Asia y Australia (Sánchez, 2015).

Los estudios de fósiles de cícadas, destacan su origen evolutivo descendiente de las pteridospermas o helechos con semillas, más concretamente del orden de las Medullosales, plantas con tallo en forma de columna, semejantes a una palmera pequeña o lianas, con grandes hojas compuestas y semillas (Martínez y Artabe, 2017); aparte del parentesco filogenético, una prueba tangible del origen es el circinado que se presenta durante el desarrollo de las hojas jóvenes muy similar a una fronda joven de helecho (Figura 1).

Son plantas no ramificadas con hojas largas de coloración verde oscuro pinnaticompuestas opuestas o subopuestas, presentan una pinna con una nervadura central y sin venas secundarias que se agrupan en forma de roseta en los extremos del tallo, el cual, es subterráneo arborescente generalmente cubierto por la base de las hojas, por lo que es común que se les confunda con palmas. Puede alcanzar de 20 a 90 cm de diámetro y hasta siete metros de altura en especímenes adultos, el crecimiento es lento por lo que requiere entre 50 y 100 años para tener dicha altura (Figura 2).



Figura 1. Circinado en hojas jóvenes de *Cycas*

El cono femenino está formado por grandes brácteas, que giran en espiral, formando una estructura circular, en cuyo interior se encuentran las semillas que son del tamaño de un limón, de coloración rojo-anaranjado que al germinar originan las hojas del nuevo esporofito, que se desarrolla “in situ” sobre el meristemo apical. Las raíces presentan asociación simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno (Sánchez, 2015).

Son dioicas, en las cuales, las estructuras reproductivas se originan en la parte superior del tallo, lo que nos permite identificar las diferencias entre los conos o estróbilos. Antes de la formación de estos, ambos sexos son prácticamente idénticos; en el caso de las plantas masculinas sobresale un cono en la zona central donde contiene los sacos de polen, de coloración amarillo cuando está activo y café cuando llega a la senescencia. Por su parte, las plantas femeninas muestran las semillas insertas en unas estructuras aterciopeladas en la parte central de



Presencia del cono femenino, formado por brácteas que producen óvulos



Los óvulos (semillas) son de color rojo, de 3 a 5 en cada bráctea



La nueva planta es la continuidad de la especie



A la marchitez del cono femenino, se alterna la reproducción asexual

color marrón, son hojas carpelares modificadas y presenta el follaje con ángulo de mayor grado debido al megatróbil que soporta en la parte central de la corona.

Es una especie muy apreciada como ornamental por su resistencia, adaptabilidad, y porque es muy longeva. En la India y China es industrializada para la extracción de “sagú”, la sustancia almidonosa para el espesor de las salsas. En algunas áreas de Japón, India e Indonesia es de importancia alimenticia, aunque existe cierta toxicidad.

### Reproducción

#### Reproducción sexual

En la reproducción sexual, el gameto femenino, es decir el óvulo es de mayor tamaño que el gameto masculino, el cual, no es móvil. Son estrictamente dioicas; en la planta femenina, la reproducción inicia con la aparición del macro esporofito, Por su parte las megasporofilias están dispuestas libremente para formar coronas, cada una tiene forma de hoja. La porción superior de la esporofila es pinnada. Los óvulos están dispuestos en dos filas en la mitad basal de la esporofila. Toda la esporofila y los óvulos jóvenes presentan una cubierta de pelos, la cual se pierde en la madurez. Cada óvulo está cubierto por un solo tegumento masivo. Pero más tarde las células nucleares en esta región se desorganizan para formar una pequeña cavidad llamada cámara de polen. La reproducción asexual se alterna al destruirse el cono femenino dando como resultado la formación de una nueva planta.

Por su parte, la reproducción sexual masculina inicia cuando aparece el microesporofito o cono masculino. El número de conos producidos cada año varía de uno a muchos en las plantas masculinas. Cada cono macho tiene forma fusiforme y un eje central. Lleva una serie de microsporofilas dispuestas en espiral. Las microsporofilas son de textura leñosa con forma de cuña. Los sacos de polen cubren la superficie inferior de las microsporofilas. Cada esporofila tiene varios cientos de esporangios. En *Cycas* se produce una gran cantidad de esporas.



Con la presencia del estróbil masculino, se inicia la reproducción sexual



Cono masculino formado por brácteas que generan los granos de polen



Con la marchitez del estróbil origina la reproducción asexual



La nueva planta es el resultado de la alternancia de la reproducción



**Figura 2. Secuencia de crecimiento vegetativo en *Cycas revoluta***

Un tubo de polen crece del grano de polen y penetra en el nucelo. El grano de polen se vuelve inactivo durante unos cuatro meses, después de eso se reanuda su actividad. Aparecen dos blefaroplastos en los dos lados del núcleo, estos, desarrollan cilios. La célula del cuerpo luego se divide en dos antherozoides. En el momento de la fertilización, el tejido nucelar entre la cámara de polen y la cámara arqueológica se desorganiza.

La punta del tubo de polen se rompe liberando dos gametos masculinos y contenidos líquidos. Solo un espermatozoide ingresa en cada arqueogonio a través del cuello. Solo el núcleo masculino del espermatozoide se fusiona con el núcleo del óvulo para formar un cigoto u oospora (2x). La reproducción asexual se alterna con la desaparición del cono masculino, lo cual da origen a una nueva planta (Vishnupriya, 2016).

### **Reproducción asexual**

Pueden generar clones (reproducción asexual), de un tallo se forma un estolón que se ancla en el suelo y este nuevo individuo se separará completamente de la planta madre, esto serán clones.

Es el método más simple, y puede darse por el crecimiento de hojas en el centro de la roseta del meristemo, generando así, un incipiente de primordio de hojas jóvenes, las cuales están rodeadas por una corona de hojas maduras.

También puede producirse por medio de "hijuelos" que emergen al lado de la planta madre, es decir, mediante la formación de brotes adventicios que se desarrollan en el tallo en la axila de las hojas de escamas. Consiste en un tallo inactivo en el centro cubierto por numerosas hojas escamosas de color marrón. Al desprenderse del tallo, comienza a germinar produciendo muchas raíces desde el lado inferior y una hoja hacia el lado superior (Figura 3).



**Figura 3. Reproducción por "hijuelos" (asexual) mediante brotes adventicios en el tallo de *Cycas revoluta***



**Figura 4. Reproducción asexual que da lugar a brotes anclados en el suelo separados de la planta madre**

Por otra parte, del tallo o alrededor del puede formarse un estolón que se ancla en el suelo y este nuevo individuo se separa completamente de la planta madre, que es una característica de subsistencia de la especie (Figura 4).

La división del meristemo apical o división dicotómica puede dar lugar a la generación de dos plantas en el mismo tallo, si la planta es de sexo masculino dará lugar a otra planta del mismo sexo (Figura 5).

#### Enfermedades

*Cycas revoluta* puede presentar enfermedades provocadas por hongos como *Alternaria* sp., *Fusarium oxysporum*, *Pestalotia cycadis* y *Phomopsis cycadina* que se presentan como manchas en hoja, pudriciones de la raíz causado por el hongo *Clitocybe tabescens* o pudriciones de la corona por *Ganoderma* sp (Naranjo, 2011).

A sí mismo, las principales plaga específica de cicas es *Aulacaspis yasumatsui*, escama del orden Hemiptera, causando inicialmente puntos cloróticos sobre las hojas, posteriormente la escama cubrirá toda la planta, incluyendo las raíces.

#### Referencias

- Martínez L. y Artabe A. 2017. Cícadas, fósiles vivientes del reino vegetal. Distribución geográfica del orden de Cycadales. 37-38. [http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/\\_documentos/sipcyt/bfa005670.pdf](http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/_documentos/sipcyt/bfa005670.pdf)
- Naranjo C. 2011. Evaluación de alternativas para el combate de la escama de las cicas (*Aulacaspis yasumatsui*) (Hemiptera: Diaspididae) en cultivo de *Cycas revoluta*, Santa Clara, San Carlos. 7-9
- Sánchez M. 2015. *Cycas revoluta* Thunb. Generalidades Manejo del cultivo y Enfermedades. 1-5. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/326186975\\_Cycas\\_revoluta\\_Thunb\\_Generalidades\\_Manejo\\_del\\_cultivo\\_y\\_Enfermedades](https://www.researchgate.net/publication/326186975_Cycas_revoluta_Thunb_Generalidades_Manejo_del_cultivo_y_Enfermedades)
- Vishnupriya R. 2016. *Cycas*: Distribution, Reproduction and Economic Importance. Biology Discussion. Consultado el 10 de febrero del 2020 <http://www.biologydiscussion.com/gymnosperm/cycas/cycas-distribution-reproduction-and-economic-importance/53265>



**Figura 5. Reproducción asexual por generación dicotómica**

## LAS PLANTAS Y LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LAS CIUDADES

A.M. Gómez-Bermúdez, A. Rocha-Estrada, M.A. Guzmán-Lucio, S.M. Salcedo-Martínez y M.A. Alvarado-Vázquez\*

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

\*marco.alvaradovz@uanl.edu.mx

Una de las problemáticas más importantes de la actualidad es la contaminación del aire, la cual hace referencia a la presencia de sustancias tóxicas en la atmósfera, principalmente como consecuencia de actividades antropogénicas (Figura 1) y en menor medida de fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, polen en suspensión e incendios forestales, por consiguiente se presentan efectos perjudiciales ambientales, sociales y económicos por lo que se ha convertido en una de las principales prioridades a mitigar.

Las áreas urbanas están en constante crecimiento, eliminando gran parte de las áreas vegetales y por lo tanto expuestas a una mayor cantidad de contaminantes, los cuales, debido a distintos gases y material particulado compuesto principalmente por sulfatos, amoníaco, nitratos, cloruro de sodio, hollín, polvos minerales y agua tienen un impacto negativo sobre los ecosistemas, la salud humana y la reducción de visibilidad. Se

estima que alrededor del 88% de la población urbana inhala aire cuyos niveles de contaminación superan los límites de los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los valores para partículas menores a 10 micrómetros (PM10) tienen un límite de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , como promedio de 24 horas y de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , como promedio anual. Por su parte las PM 2.5 tiene un límite de 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de media en 24 horas y de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , como media anual (Organización Mundial de la Salud, 2018).

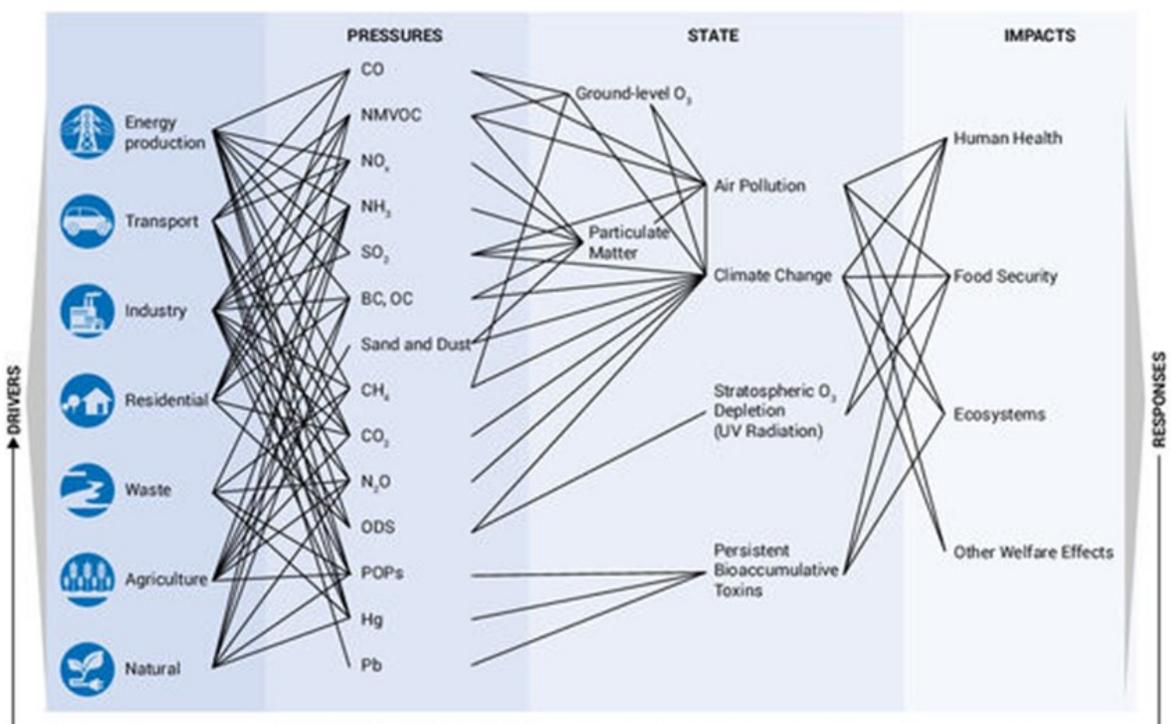


Figura 1. Vínculos primarios entre presiones, estado e impactos de la contaminación atmosférica. Fuente: Global Environment Outlook Geo-6 Healthy planet, Healthy people, 2019. <https://content.yudu.com/web/2y3n2/0A2y3n3/GEO6/html/index.html?page=140&origin=reader>

Los registros de los altos niveles de contaminación por material particulado están estrechamente correlacionados con las enfermedades respiratorias y cardiovasculares por su capacidad de introducirse y penetrar más profundamente en los alvéolos pulmonares. Los niños están más propensos a riesgos medioambientales que los adultos, puesto que, existe una inmadurez anatomofisiológica y sus sistemas corporales aún se están en desarrollo (Linares y Díaz, 2009). De acuerdo a los datos de la OMS cada año la contaminación del aire causa 4.2 millones de muertes prematuras, de las cuales el 91% se origina en países de ingresos bajos.

Por otra parte la vegetación, principalmente el arbolado urbano, influye en la calidad ambiental y por consiguiente en la salud humana, ya que mejora la calidad del aire, provee hábitats para aves y pequeños insectos, genera sombra que contribuye a controlar la temperatura, provee sitios de recreación, aumenta el valor patrimonial, a su vez, gracias a las características morfológicas y químicas de las plantas, la vegetación urbana contribuye en la dispersión de los contaminantes y al actuar como un filtro biológico para la deposición de los mismos.

blema se agudizó, puesto que el sistema de transporte, el constante crecimiento y la manera de establecimiento de las ciudades accedió a la introducción y deposición de contaminantes; de la misma manera, esto ha generado la tala de millones de hectáreas de áreas vegetales para el asentamiento urbano.

Más de la mitad de la población mundial habita en ciudades y se calcula que para el año 2050 alrededor del 70% de la población será urbana. La ONU indica que anteriormente para 1990 existían 10 mega ciudades, es decir áreas urbanas de al menos 10 millones de habitantes; en la actualidad hay 28, abanderado por Tokio, Nueva Delhi, Shanghái, Ciudad de México y Sao Paulo; lo cual está asociado a los principales emisores de gases de efecto invernadero; siendo China el principal en encabezar la lista (Figura 2).

En busca de la comodidad y accesibilidad a las cosas, los avances tecnológicos tienen un crecimiento apresurado y el mal uso de estos ha afectado el medio ambiente, generando cambios significativos en la composición de la atmósfera que afecta directamente al ser humano y la destrucción de hábitats.

### Las ciudades como principales fuentes de contaminación

La baja calidad del aire urbano es un grave problema local y globalmente. Aunque la contaminación atmosférica de origen antropogénico existe desde el origen del hombre con el descubrimiento del fuego; fue a partir de la revolución industrial y del uso de combustibles fósiles que el pro-

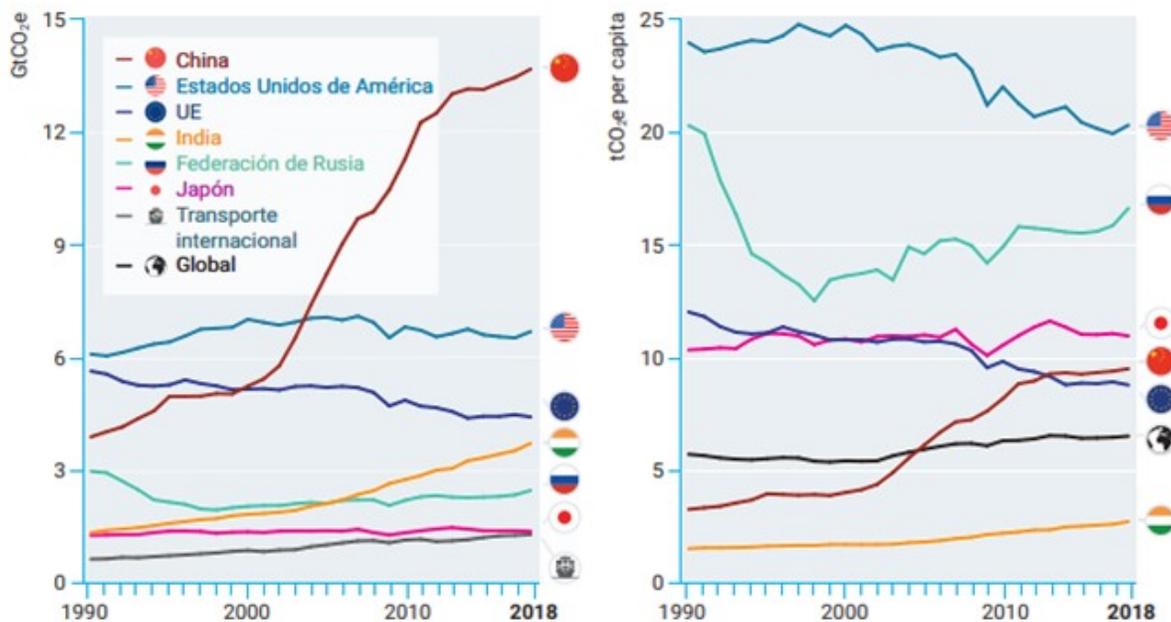


Figura 2. Principales emisores de gases de efecto invernadero sin incluir las emisiones de cambio de uso de tierra, en términos absolutos (izquierda) y per cápita (derecha). Fuente: Informe sobre la disparidad en las emisiones de 2019, ONU. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30798/EGR19ESSP.pdf?sequence=17>

De acuerdo a Maldonado (2009), en promedio, un área urbana que cuenta con un millón de habitantes cada día consume 625.000 mts<sup>3</sup> de agua, 2.000 toneladas de alimentos y 9.500 toneladas de combustible, lo que por consecuencia genera 500.000 mts<sup>3</sup> de aguas residuales, 2.000 toneladas de desechos sólidos y 950 toneladas de contaminantes atmosféricos; esto sin tomar en cuenta los procesos industriales.

Actualmente cientos de ciudades en el mundo tienen problemas como consecuencia de la contaminación, lo cual se hace más notorio en los efectos del cambio climático. La emisión de CO<sub>2</sub> de las grandes ciudades de los Estados Unidos de América es mayor que el total de su área continental, en Phoenix se cuentan con registros donde durante la época de invierno la concentración de este gas es 24% superior en este sitio que en las áreas rurales de los alrededores.

El crecimiento económico exponencial de China en las últimas décadas, deja visible la degradación ambiental que permitió el desarrollo del país, lo que conlleva cada año a miles de muertes prematuras, daño en infraestructuras, pérdida de cultivos, mayor número de catástrofes naturales e incremento de costes sanitarios y de limpieza; lo que la ha colocado mundialmente como el país más contaminado, lo que es un reto satisfacer las necesidades de su creciente población de transporte, vivienda, energía, empleo y servicios de salud.

De igual manera, La India es uno de los países con menor urbanización, pero su población urbana es la segunda más grande del mundo y una de sus mayores preocupaciones es la contaminación del aire, principalmente por las industrias, el incremento de vehículos y la quema doméstica de combustibles que generan cantidades importantes de contaminantes.

El número absoluto de vehículos en la India es de 89,618,000, mayor que en Alemania, siendo 50,184,000; con lo anterior ocupa el primer lugar en países más congestionados por tráfico vehicular; es una necesidad emergente debido a la falta de transporte público y la expansión horizontal de las ciuda-

des que incrementa la duración del viaje, perdiendo alrededor de 10 días 3 horas atascado en el tráfico durante 1 año; aunado a la tecnología obsoleta de los automóviles y con ello las emisiones que esto ocasiona.

En cuanto al sector doméstico el uso de combustibles de biomasa y estufas abiertas conlleva a problemas de salud (Ghosh y Kansal, 2014).

Asimismo la Ciudad de México presenta una alta densidad poblacional e industrial, por lo que no es novedad que se involucre en problemas ambientales. El ozono es uno de los principales problemas, encontrándose en un 80% de los días del año por encima de los límites permitidos, la mayor concentración de contaminantes proviene de los automóviles, por lo que a partir de 1989 el gobierno implementó el programa "hoy no circula" en días de contingencia de emergencia; no obstante, la solución implica necesariamente en un cambio cultural respecto a la relación con el medio ambiente para aceptar y ser responsables de acciones cotidianas que contribuyan al mejoramiento.

Japón por su parte, ha implementado medidas a favor del medio ambiente, con la creación de entidades para la preservación de la naturaleza, normas dentro de industrias, la aportación a otros países para el uso de políticas ambientales y la creación de nuevas tecnologías para hacer un uso eficiente y sustentable de energía.

### **Efectos de la contaminación**

Entre los efectos principales y más inmediatos de la contaminación se puede mencionar el deterioro de la salud humana, efectos en ecosistemas y edificios, reducción de visibilidad y efectos negativos en plantas. Asimismo hay contaminantes que ocasionan efectos globales como el efecto invernadero, a destrucción de la capa de ozono y el cambio climático.

### **Efectos en la salud**

El primer caso con efectos graves, es el conocido como la "niebla tóxica londinense" de diciembre de

1952, donde los altos niveles de las concentraciones de contaminantes provocaron alrededor de 4,000 fallecimientos humanos y el deterioro de los bosques europeos por la lluvia ácida. Actualmente aunque las concentraciones de contaminantes son diariamente monitoreadas, las exposiciones por largos periodos de tiempo incluso a niveles por debajo de las normas internacionales se asocia al deterioro de la salud humana.

La principal vía de las partículas contaminantes es inhalatoria, por consiguiente, los problemas que acarrear son respiratorios, como por ejemplo, bronquitis, asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y neumonía; en el sistema cardiovascular como arritmias e infartos; y otros como conjuntivitis. Lo anterior depende del tipo de contaminante y el tiempo de exposición. El monóxido de carbono (CO) es altamente tóxico, inhalado en pequeñas cantidades puede producir hipoxia, daño neurológico y posiblemente la muerte y una característica peligrosa está relacionada a que carece de olor y sus síntomas pueden ser mareo y dolor de cabeza seguido de inconsciencia, falla respiratoria y muerte. Por su parte, el dióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) irritan las vías respiratorias y puede provocar bronquitis. En cuanto a las partículas PM 2.5 y PM10 agravan el asma y enfermedades respiratorias cardiovasculares, su exposición crónica puede ocasionar la muerte. Datos de investigación en la Ciudad de México, muestran un incremento de la mortalidad asociado simultáneamente a ozono, bióxido de azufre y partículas totales en suspensión con un incremento del 6% en la mortalidad por cada 100 mg/m<sup>3</sup>.

### **Efectos en ecosistemas e infraestructuras**

Los efectos de la contaminación también dañan los ecosistemas naturales, los monumentos históricos y la infraestructura urbana. La presencia de partículas en el aire por la quema de combustibles fósiles produce dióxido y trióxido de azufre y óxido de nitrógeno que al entrar en contacto con agua en suspensión en la atmósfera genera lluvia ácida que al

caer acidifica los diminutos poros de las hojas, obstruyendo el proceso de fotosíntesis, así como la degradación de los suelos, por otra parte, este efecto contribuye a la disminución de peces y otros organismos acuáticos al acidificar lagos, ríos y arroyos. Los edificios, estatuas y esculturas también tienen impactos negativos por la lluvia ácida y la sedimentación de estas partículas al contribuir a la corrosión de los metales y al deterioro de la pintura y la piedra.

Los contaminantes se esparcen a largas distancias de sus puntos de origen hasta niveles peligrosos gracias al movimiento de masas de aire provocado por eventos meteorológicos. La temperatura del aire determina los movimientos del mismo y las condiciones de estabilidad o inestabilidad. Las características geográficas influyen en la acumulación de los contaminantes, las zonas en donde hay presencia de montañas frenan el viento, favoreciendo su acumulación.

Por otro lado, las ciudades influyen en el movimiento de las masas de aire, disminuyendo su velocidad y generando turbulencias que mantiene las partículas contaminantes en la misma zona. Estas sustancias incluyen varios gases y partículas minúsculas o materia de partículas que pueden ser perjudiciales para la salud humana y el ambiente; es por ello que esto es el efecto que generalmente en las ciudades se identifica la reducida visibilidad. No obstante, la presencia de arbolado urbano contribuye a la dispersión de contaminantes y a determinar el flujo del viento.

### **Efectos sobre la vegetación urbana**

La contaminación puede llegar a debilitar a los árboles y provocar la susceptibilidad al ataque de patógenos e insectos. Los daños causados al follaje tales como necrosis, clorosis, pigmentación y manchado de las hojas, manchas es provocado por las elevadas concentraciones de agentes fitotóxicos.

Ozono. Plantas expuestas a grandes cantidades de ozono pueden desarrollar manchas irregulares y a menudo de color canela, marrón o negro (Figura 3).

Algunas hojas pueden tener un aspecto bronceado o rojo, generalmente como precursor de la necrosis. El efecto combinado del ozono y de peroxiacetilnitratos suele ser severa en coníferas.

Dióxido de azufre. Puede causar daño si se da por exposición a altas concentraciones o por exposiciones menores durante largos periodos de tiempo. El daño agudo se manifiesta en cambios de coloración entre las nervaduras y márgenes foliares en hojas anchas y necrosis apical en coníferas sensibles. La exposición crónica provoca amarillamiento en las hojas y llegando a acumular grandes cantidades de sulfato (Figura 4).

Fluoruros. Primero se acumulan en las hojas y luego se trasladan hacia las puntas y los márgenes de las hojas. Los síntomas de la lesión se producen solo después de alcanzar un nivel crítico de flúor. Provocan clorosis y amarillamientos en ápices y bordes de las hojas (Figura 5).

Amoniaco: Síntomas de la lesión: los síntomas visibles más comunes en las coníferas son decoloración negra, quemaduras y abscisión de agujas. En las hojas de angiosperma, los síntomas comunes son apariencia empapada de agua que luego se torna negra provocando necrosis intercostal, leve lesión de la superficie superior (Figura 6).

Para contar con una mejor administración y beneficio del arbolado urbano es importante tener en cuenta la zonificación para el manejo de especies de acuerdo con las zonas de exposición a las diferentes concentraciones dentro de las ciudades; de lo que se tiene zonas con muy alta, alta, media y baja concentración de contaminantes y establecer el tipo de especies de acuerdo a su sensibilidad a los contaminantes atmosféricos.

De acuerdo con el catálogo de especies del Manual Técnico para el Establecimiento y Manejo Integral de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal (2009), algunas especies resistentes a concentraciones muy altas de partículas son acacia (*Acacia longifolia*), madroño (*Arbutus laurina*), tepozán (*Buddleia cordata*), retama (*Cassia tomentosa*), Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* y *E. robusta*), magnolia (*Magnolia grandiflora*).



Figura 3. Lesiones por ozono en el follaje de la soja (Gheorghe y lon., 2011).



Figura 4. Lesiones agudas por Dióxido de azufre en hojas de frambuesa (Gheorghe y lon, 2011).



Figura 5. Lesiones por fluoruro en el follaje de ciruela (Gheorghe y lon, 2011).



Figura 6. Graves lesiones de amoníaco en el follaje de manzana (Gheorghe y lon, 2011).

Especies resistentes a concentraciones altas como tejocote (*Crataegus mexicana*), ciprés italiano (*Cupressus sempervirens*) y ficus (*Ficus benjamina*); a concentraciones medias se pueden mencionar algunos como huizache (*Acacia farnesiana*) y limón (*Citrus limon*); finalmente las especies tolerantes a las concentraciones bajas son abies (*Abies religiosa*), cedro blanco (*Cupressus lindleyi*) y trueno común (*Ligustrum vulgare*).

### Árboles como filtro biológicos de la deposición de contaminantes atmosféricos

La vegetación de los ecosistemas urbanos provee servicios ambientales para la mitigación de emisio-

nes de contaminantes atmosféricos, generación de oxígeno, el ahorro de energía, aumento en la captación de agua de lluvia, amortiguamiento del impacto de fenómenos naturales, la disponibilidad de más hábitats para la biodiversidad y áreas de recreación (Figura 7).

Para tener un buen aprovechamiento de los árboles presentes en las ciudades, se debe considerar principalmente la función de estos y las condiciones del sitio para seleccionar el tipo de especie más adecuada, de esta manera la arborización debidamente administrada y constituida no sólo es un componente más de la infraestructura urbana, sino que también provee beneficios para la salud y la recrea-



Figura 7. Interconexiones entre los seres humanos, la biodiversidad, la salud del ecosistema y la provisión de servicios ecosistémicos (Global Environment Outlook Geo-6 Healthy planet, Healthy people, 2019. <https://content.yudu.com/web/2y3n2/0A2y3n3/GEO6/html/index.html?page=140&origin=reader>)

ción de la ciudad, al apoyar un crecimiento urbano bajo criterios de sostenibilidad.

Los árboles pueden eliminar contaminantes obstruyendo partículas en el aire, posteriormente algunas de ellas son absorbidas y otras retenidas en la superficie de las hojas. El proceso de fotosíntesis contribuye a través de la absorción de altas cantidades de material particulado mediante los estomas de las hojas, en particular  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_3$ . Una vez dentro de las hojas, los gases se propagan en los espacios intercelulares y pueden ser embebidos por películas de agua para formar ácidos o reaccionar con las superficies internas de la hoja.

La capacidad de retención de partículas depende principalmente de las características anatómicas de las plantas, principalmente de aquellas de la superficie de las hojas, como la rugosidad superficial, tricomas y capa de cera epicuticular, pero no de la venación y forma foliar (Egas et al., 2018) (Figura 8).

Si la deposición se da en hojas cerosas, la pérdida de partículas por viento o lluvia es menor. Las mediciones en 13 especies de plantas indicaron que aproximadamente el 60% del depósito de partículas se lavó con agua, mientras que el 40% se encontraba en la capa de cera, esto debido a que las partículas, principalmente la fracción más gruesa, se eliminan de la superficie de las hojas durante la lluvia.

Asimismo, la transpiración libera agua en forma de vapor, comportándose como un "aire acondicionado" que regula el microclima de las grandes urbes. Ahora bien, otro de los efectos favorables de los árboles tiene que ver con la radiación solar que, por medio de la sombra que estos generan, se reduce y los árboles son capaces de absorber calor y controlar la temperatura del viento; por tanto, en este sentido las especies perennes son mejores que las caducas.

De la misma manera, Hewitt et al., (2019) indican

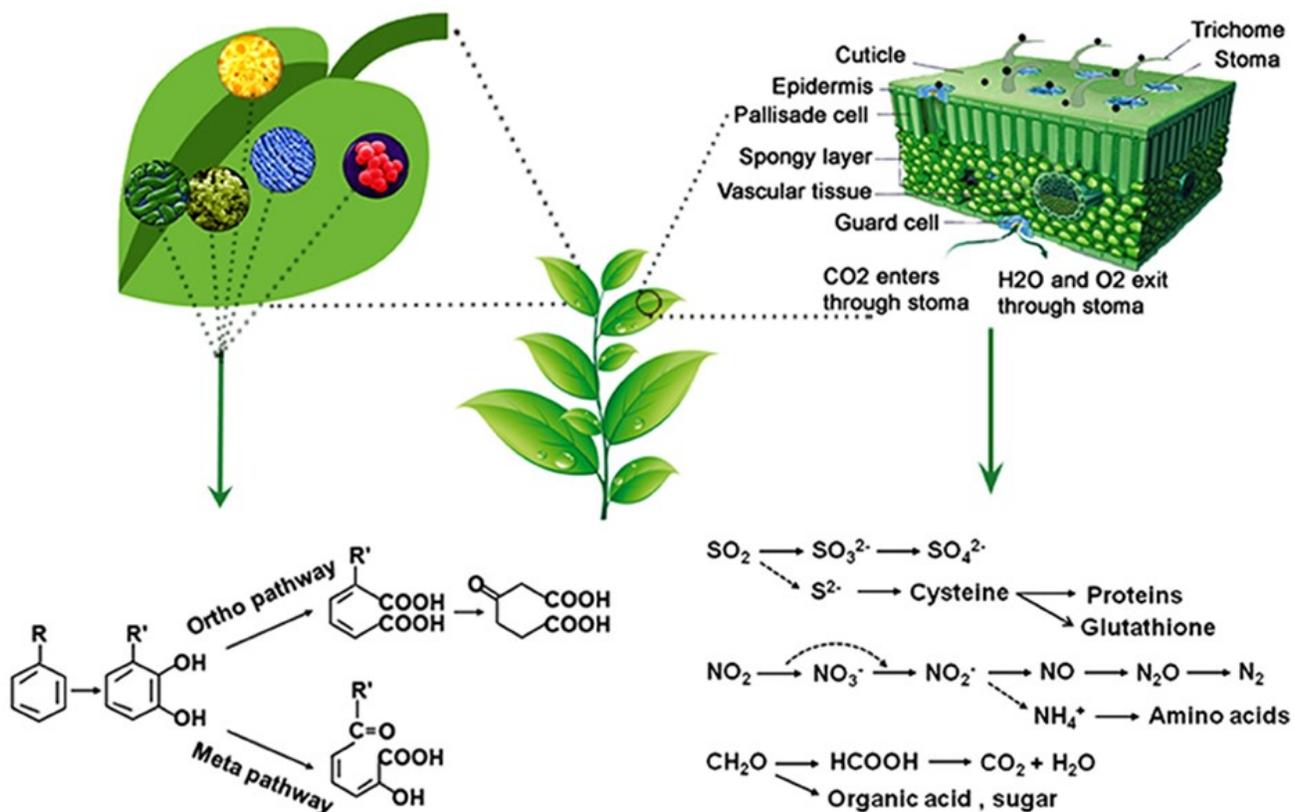


Figura 8. El panel central representa una parte aérea de una planta. El panel de la derecha muestra una sección transversal esquemática ampliada de una hoja donde la superficie de la hoja y los tricomas pueden retener material particulado (PM) y los estomas adsorben o absorben PM, y cómo las hojas pueden asimilar  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{CH}_2\text{O}$  (formaldehído) a compuestos orgánicos simples, aminoácidos o proteínas. El panel izquierdo representa una superficie foliar ampliada con bacterias, que pueden biodegradar o transformar compuestos orgánicos volátiles en otros menos tóxicos o no tóxicos como el benceno (Xiangying et al., 2017).

que las plantas con mayor área de superficie, mayores tasas de transpiración y períodos más largos con hojas resultan con una mayor deposición. Por lo cual, la selección de especies es crítica para lograr una mayor eliminación de contaminantes, al igual que la morfología de las hojas debe ser considerada en combinación con área de superficie.

Por lo anterior diversos estudios revelan que los bosques urbanos son una estrategia para disminuir los niveles de contaminación de las ciudades. De acuerdo con Nowak et al., (2009) la eliminación total del aire contaminado (5 contaminantes) por árboles urbanos en los Estados Unidos colindantes se estima en 71 1,000 t, con un valor anual de \$ 3.8 mil millones y el arbolado de Houston TX, retiene 2,340 toneladas de contaminantes atmosféricos anualmente y Nueva York 1,790 toneladas, en el que se menciona el mayor efecto de los árboles urbanos sobre contaminantes como el ozono, el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno es durante el día cuando los árboles transpiran agua, aunque la eliminación se produce tanto de día como de noche y durante todo el año a medida que las partículas son

retenidas por las hojas y la corteza.

Un estudio sugirió que la vegetación total existente en el Reino Unido reduce la concentración superficial anual promedio en aproximadamente un 10% para PM2.5, 6% para PM10, 13% para O<sub>3</sub>, 24% para NH<sub>3</sub> y 30% para SO<sub>2</sub>. Por su parte en Beijing, una población de más de dos millones de árboles removió 1.261 toneladas de contaminantes; de los cuales, las partículas suspendidas entre 5 y 10 µm (PM5 y PM10) fueron las principales.

### Infraestructuras verdes para la mitigación de partículas contaminantes

Las infraestructuras verdes, tales como azoteas y paredes verdes son una forma de brindar servicios ambientales a las ciudades, debido a la disminución de espacio por el crecimiento de las ciudades. Destaca su participación en la reducción de la temperatura de los edificios y de los efectos de las islas de calor urbana, además, proveen un hábitat ideal para la conservación de especies principalmente de polinizadores y favoreciendo la agricultura urbana (Figura 9). Lo anterior ha mostrado una elevada po-

Benefit	Reduces Stormwater Runoff								Improves Community Livability									
	Reduces Water Treatment Needs	Improves Water Quality	Reduces Grey Infrastructure Needs	Reduces Flooding	Increases Available Water Supply	Increases Groundwater Recharge	Reduces Salt Use	Reduces Energy Use	Improves Air Quality	Reduces Atmospheric CO <sub>2</sub>	Reduces Urban Heat Island	Improves Aesthetics	Increases Recreational Opportunity	Reduces Noise Pollution	Improves Community Cohesion	Urban Agriculture	Improves Habitat	Cultivates Public Education Opportunities
Practice																		
Green Roofs	●	●	●	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Tree Planting	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bioretention & Infiltration	●	●	●	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●
Permeable Pavement	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	●	○	○	○	●
Water Harvesting	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	●

Yes
  Maybe
  No

Figura 9. Beneficios de infraestructuras verdes (Center for Neighborhood Technology , 2010).

tencialidad para la mitigación de los efectos de la contaminación atmosférica y el cambio climático, puesto que su biomasa puede actuar como sumidero de carbono.

Al tratarse de espacios urbanos, este es el inicio de un proceso de ordenamiento de las ciudades sustentables que permita la revaloración de ecosistemas naturales y los servicios relacionados que estos proveen, además sitúa a la conciencia sobre calles, edificios y parques verdes como el medio que permite lograr la conexión entre los aspectos urbanos y naturales o para conectar zonas naturales subsistentes; reduciendo de esta manera la fragmentación de hábitats.

### Ejemplos de infraestructura verde

Un jardín de lluvia o cuenca de biorretención. Es una depresión plantada para absorber el agua de lluvia de áreas como techos, entradas de vehículos y pasillos; los cuales reducen la escorrentía al permitir que las aguas pluviales penetren en el suelo, en lugar de fluir hacia los desagües que puede causar erosión (Figura 10).



Figura 10. Ejemplo de infraestructura de Biorretención (Center for Neighborhood Technology , 2010 ).

Biorretención e infiltración (Bioretention and infiltration). Consisten en un curso de desagüe de pendiente suave y relleno de composta y vegetación, promueve la infiltración reduciendo la velocidad de flujo del agua de escorrentía de aguas pluviales; lo que ayuda a atrapar contaminantes.

Azoteas verdes (Green roofs). Es principalmente el techo de un edificio que es cubierto de vegetación, utilizado ampliamente para gestión de absorción aguas pluviales y potencial de ahorro de energía e islas de calor urbano; además provee beneficios estéticos (Figura 11).



Figura 11. Ejemplo de azoteas verdes (Center for Neighborhood Technology , 2010).

Pavimento permeable (Permeable pavement). Permite la absorción e infiltración de agua de lluvia (Figura 12) y nieve derretida en el sitio. Tiene el potencial de reducir el uso de energía al disminuir la temperatura del aire circundante, que a su vez reduce la demanda de sistemas de enfriamiento dentro edificios.



Figura 12. Ejemplo de pavimento permeable (Center for Neighborhood Technology , 2010).

Sistema de captación de agua de lluvias (wáter harvesting). Consiste en un tanque de agua que se utiliza para recoger y almacenar agua de lluvia, generalmente desde los tejados a través de canales de lluvia. Los tanques de agua de lluvia recolectan y almacenan la lluvia cosechada para uso doméstico, riego de jardines, lavado de autos, agricultura (Figura 13).



Figura 13. Ejemplo de sistema de captación de agua de lluvia (Center for Neighborhood Technology , 2010).

## Referencias

Egas C., Naulin P. y Préndez M. 2018. Contaminación Urbana por Material Particulado y su Efecto sobre las Características Morfo-Anatómicas de Cuatro Especies Arbóreas de Santiago de Chile. *Información Tecnológica*. 29(4): 111-112. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v29n4/0718-0764-infotec-29-04-00111.pdf>

Gheorghe I. y Ion B. 2011. The Effects of Air Pollutants on Vegetation and the Role of Vegetation in Reducing Atmospheric Pollution, The Impact of Air Pollution on Health, Economy, Environment and

Agricultural Sources. 250-260. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1>

Ghosh R. y Kansal A. 2014. El desafío urbano en la India y la misión por un hábitat sustentable. *Interdisciplina* 2(2): 141-45.

Hewitt C.N., Ashworth K. y MacKenzie A.R. 2019. Using green infrastructure to improve urban air quality (GI4AQ). *Ambio* 49, 62–73

Linares C. y Díaz J. 2009. Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *ScienceDirect* 23(3): 192-197.

Maldonado J. (2009). Cities and pollution. *Revista de Ingeniería*, (30), 66-71. Consultado el 24 de enero del 2020. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-49932009000200009&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932009000200009&lng=en&tlng=en).

Manual Técnico para el Establecimiento y Manejo Integral de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal. 2009. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal de México. 9-13.

Nowak, D. J., Crane y Stevens J. C. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*. 115-123

Organización Mundial de la Salud. 2018. Calidad del aire y salud. Consultado el 20 de enero del 2020. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Xiangying W., Shiheng L., Ying Y., Zonghua W., Hong L., Dongming D., Jianjun Ch. 2017. Phylloremediation of Air Pollutants: Exploiting the Potential of Plant Leaves and Leaf-Associated Microbes. *Frontiers in Plant Science*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01318/full>

Center for Neighborhood Technology , 2010. The Value of Green Infrastructure. A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits [https://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT\\_Value-of-Green-](https://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_Value-of-Green-)

# Para Reflexionar...

## ALCANZA TU SUEÑO

**Mahatma Gandhi**

*Sé firme en tus actitudes y perseverante en tu ideal. Pero sé paciente, no pretendiendo que todo te llegue de inmediato.*

*Haz tiempo para todo, y todo lo que es tuyo, vendrá a tus manos en el momento oportuno.*

*Aprende a esperar el momento exacto para recibir los beneficios que reclamas.*

*Espera con paciencia a que maduren los frutos para poder apreciar debidamente su dulzura.*

*No seas esclavo del pasado y los recuerdos tristes.*

*No revuelvas una herida que está cicatrizada.*

*No rememores dolores y sufrimientos antiguos. ¡Lo que pasó, pasó!*

*De ahora en adelante procura construir una vida nueva, dirigida hacia lo alto y camina hacia delante, sin mirar hacia atrás.*

*Haz como el sol que nace cada día, sin acordarse de la noche que pasó.*

*Sólo contempla la meta y no veas que tan difícil es alcanzarla.*

*No te detengas en lo malo que has hecho; camina en lo bueno que puedes hacer.*

*No te culpes por lo que hiciste, más bien decídate a cambiar.*

*No trates que otros cambien; sé tú el responsable de tu propia vida y trata de cambiar tú.*

*Deja que el amor te toque y no te defiendas de él.*

*Vive cada día, aprovecha el pasado para bien y deja que el futuro llegue a su tiempo.*

*No sufras por lo que viene, recuerda que "cada día tiene su propio afán".*

*Busca a alguien con quien compartir tus luchas hacia la libertad; una persona que te entienda, te apoye y te acompañe en ella.*

*Si tu felicidad y tu vida dependen de otra persona, despréndete de ella y ámala, sin pedirle nada a cambio.*

*Aprende a mirarte con amor y respeto, piensa en ti*

*como en algo precioso.*

*Desparrama en todas partes la alegría que hay dentro de ti.*

*Que tu alegría sea contagiosa y viva para expulsar la tristeza de todos los que te rodean.*

*La alegría es un rayo de luz que debe permanecer siempre encendido, iluminando todos nuestros actos y sirviendo de guía a todos los que se acercan a nosotros.*

*Si en tu interior hay luz y dejas abiertas las ventanas de tu alma, por medio de la alegría, todos los que pasan por la calle en tinieblas, serán iluminados por tu luz.*

*Trabajo es sinónimo de nobleza.*

*No desprecies el trabajo que te toca realizar en la vida.*

*El trabajo ennoblece a aquellos que lo realizan con entusiasmo y amor.*

*No existen trabajos humildes. Sólo se distinguen por ser bien o mal realizados.*

*Da valor a tu trabajo, cumpliéndolo con amor y cariño y así te valorarás a ti mismo.*

*Dios nos ha creado para realizar un sueño.*

*Vivamos por él, intentemos alcanzarlo.*

*Pongamos la vida en ello y si nos damos cuenta que no podemos, quizás entonces necesitemos hacer un alto en el camino y experimentar un cambio radical en nuestras vidas.*

*Así, con otro aspecto, con otras posibilidades y con la gracia de Dios, lo haremos.*

*No te des por vencido, piensa que si Dios te ha dado la vida, es porque sabe que tú puedes con ella.*

*El éxito en la vida no se mide por lo que has logrado, sino por los obstáculos que has tenido que enfrentar en el camino.*

*Tú y sólo tú escoges la manera en que vas a afectar el corazón de otros y esas decisiones son de lo que se trata la vida.*

*Que este día sea el mejor de tu vida*

**Siempre es hoy, el eterno presente**