



**LAS PLANTAS EN LA CIENCIA Y NUESTRA VIDA:**

**INSPIRÁTE, ANÍMATE Y DESCÚBRELAS**

**Julia del Socorro Cano Sosa**  
**Editora compiladora**



**COECYTJAL**  
Consejo Estatal de Ciencia  
y Tecnología de Jalisco



**LAS PLANTAS EN LA CIENCIA Y NUESTRA VIDA:  
INSPIRATE, ANÍMATE Y DESCÚBRELAS**



**Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.**

**2022**

**Guadalajara, Jalisco, México**

## **Directorio**

### **CIATEJ**

Dra. Eugenia del Carmen Lugo Cervantes

Directora General

Dra. Teresa del Rosario Ayora Talavera

Directora de la Subsede Sureste

### **Autores para correspondencia**

Ana Ramos Díaz

Julia del Socorro Cano Sosa

Guadalupe López Puc

Neith Aracely Pacheco López

Teresa del Rosario Ayora Talavera

Angela Francisca Ku González

Soledad Cecilia Pech Cohuo

Alberto Uc Vázquez

Daniel Ivan Couoh May

Juan Carlos Cuevas Bernardino

### **Editora compiladora**

Julia del Socorro Cano Sosa

**Autores.** Se presentan al inicio de cada capítulo

Sello Editorial: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

D.R. © 2022. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio, sin permiso por escrito del titular de los derechos.

Primera edición, 2022

ISBN: 978-607-8734-42-9

## Prólogo

La Divulgación Científica forma parte importante de las actividades que realizamos las investigadoras y los investigadores en todas las áreas de las Ciencias.

Divulgar es la manera de despertar el interés por la ciencia en niños, jóvenes y adultos; así como informar a la comunidad científica de las novedades, avances e innovaciones en las diferentes áreas del conocimiento.

El presente texto denominado “Las Plantas en la Ciencia y nuestra vida: Inspírate, Anímate y Descúbrelas”, es el resultado de la colaboración multidisciplinaria entre investigadoras e investigadores dedicados a la labor científica en áreas como biotecnología de plantas, alimentos, salud, farmacia y bioprocesos; así como de profesores a nivel licenciatura con experiencia en temas ambientales y de biopolímeros e incluso, la participación de productores agrícolas.

En este documento, se describe uno de los grupos de seres vivos más interesantes que se encuentran en la naturaleza: las plantas, con una perspectiva de cómo a través de la ciencia generan beneficios en nuestra vida, además de formar parte de actividades como interiorismo, paisajismo y artesanales.

El objetivo es dar una visión de las plantas desde el nivel microscópico hasta el macroscópico, para impactar en la percepción de la población hacia estos organismos tan sorprendentes, haciendo hincapié en ellas como recurso vital, ya que forman parte de nuestra alimentación y son fuente de compuestos que tienen un impacto en nuestra salud.

Esperamos que este libro motive a un mayor acercamiento, conocimiento e investigación en el área agroalimentaria y de la salud mediante el uso de la Biotecnología Vegetal, y lo más importante es que los inspire, anime y facilite el descubrimiento de lo maravilloso de las plantas.

Dra. Teresa Ayora Talavera

Directora de la Subsele Sureste del CIATEJ

## **Agradecimientos**

Al Programa de Difusión y Divulgación de la Ciencia, Tecnología e Innovación (DYD) 2021, emitida por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco (COECyTJAL) en colaboración con la Secretaría de Innovación Ciencia y Tecnología de Jalisco (SICyT) por el apoyo al proyecto con clave 9272-2021, denominada “Las Plantas en la Ciencia y nuestra vida: Inspírate, Anímate y Descúbrelas”; cuya responsable técnico fue la Dra. Julia del Socorro Cano Sosa.

Al Centro de investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ).

# CONTENIDO

## Capítulo 1

<b>Las plantas: Historia, usos ancestrales y actuales.</b> .....	9
Introducción .....	9
El papel de las plantas .....	10
Mutualismo entre plantas y animales .....	10
Productos forestales aprovechados por el hombre .....	11
Productos Forestales No Maderables .....	11
Productos Forestales Maderables .....	12
Múltiples usos de colorantes obtenidos de plantas .....	13
Mejoramiento genético de las plantas .....	13
Conclusión .....	15
Referencias .....	16

## Capítulo 2

<b>Las plantas en nuestra alimentación diaria</b> .....	17
Introducción .....	17
Principales plantas utilizadas en la alimentación mexicana .....	18
Diferentes partes de las plantas y sus usos en la alimentación .....	21
Compuestos bioactivos en plantas para utilizarlos en alimentos .....	24
Técnicas de extracción y cuantificación de compuestos fenólicos en plantas comestibles .....	26
Tecnologías sustentables para la conservación de plantas para alimentación .....	28
Conclusión .....	32
Agradecimientos .....	32
Referencias .....	33

## Capítulo 3

<b>Mujeres que han impulsado la Biotecnología Vegetal</b> .....	37
Introducción .....	37
Jeanne Baret .....	38
Barbara McClintock .....	38
Mary Dell-Chilton .....	39
Pilar Carbonero .....	40
Cathie Martin .....	40
Suzanne Simard .....	41
Lilian Suzette Gibbs .....	41
Greta Bárbara Stevenson .....	42
Barbara Jeppe .....	42
Nuria Costa Leonardo .....	43
Segenet Kelemu .....	43
Muriel Wheldale .....	44

Rose Scott-Moncrieff .....	44
Conclusión .....	45
Referencias .....	46
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Plantas ornamentales de interior, más que decoración .....</b>	<b>47</b>
Introducción .....	47
Purificación del aire de interior .....	48
COVs tipos principales .....	49
MP tipos principales .....	49
Efecto de los contaminantes en la salud humana .....	49
Uso de las plantas para purificar el aire .....	50
Las plantas de interior y salud .....	51
Especies vegetales de interior más utilizadas .....	51
Conclusión .....	56
Referencias .....	57
<b>Capítulo 5</b>	
<b>Los microorganismos fitopatógenos ¿son aliados o enemigos? .....</b>	<b>59</b>
Introducción .....	59
Los microorganismos fitopatógenos .....	60
Principales microorganismos fitopatógenos .....	60
1. Bacterias .....	60
<i>Candidatus Liberibacter, Agrobacterium y Streptomyces</i> .....	61
<i>Agrobacterium</i> .....	62
<i>Streptomyces</i> .....	63
2. Virus y Viroides .....	63
<i>Citrus tristeza virus</i> .....	64
3. Hongos y Oomicetos .....	65
<i>Phytophthora infestans, Hemileia vastatrix y Poconia sp, hongos micorrizico</i> .....	65
<i>Hemileia vastatrix</i> (roya del cafeto) .....	66
<i>Pochonia sp</i> .....	66
4. Nematodos .....	66
<i>Meloidogyne y Romanomermis</i> .....	67
<i>Phytoplasmas</i> .....	68
Conclusión .....	69
Referencias .....	70
<b>Capítulo 6</b>	
<b>En el interior de las plantas: visto a través de diferentes microscopios .....</b>	<b>73</b>
Introducción .....	73
El microscopio .....	73
Imágenes de plantas .....	76
Las partes que componen una planta .....	77

La raíz .....	77
El tallo .....	78
Las hojas .....	79
Las flores .....	80
Los frutos .....	81
Las semillas .....	82
Conclusión .....	83
Agradecimientos .....	83
Referencias .....	84
<b>Capítulo 7</b>	
<b>Usos y aplicaciones de las plantas en temas de salud y farmacia .....</b>	<b>85</b>
Introducción .....	85
¿Cómo las plantas se volvieron tan elementales en nuestra salud? .....	85
¿Dónde estamos? ¿Qué sabemos sobre el tema hasta ahora? .....	87
¿Hacia dónde vamos? .....	90
Compuestos bioactivos de plantas empleados en la farmacéutica .....	91
Perspectivas en la búsqueda de nuevos fármacos derivados de plantas .....	92
Conclusión .....	93
Referencias .....	94
<b>Capítulo 8</b>	
<b>Las plantas como aliados de belleza: Uso de plantas en cosmeceútica .....</b>	<b>97</b>
Introducción .....	97
Cosmeceútica y la búsqueda de la piel perfecta .....	97
Las plantas en la salud de la piel .....	99
1 Sábila y albaca .....	99
2 Rosa .....	100
3 Aguacate .....	100
4 Caléndula .....	101
5 Lavanda .....	102
6 Manzanilla .....	104
7 Romero .....	105
8 Jojoba .....	105
9 Geranio .....	106
Conclusión .....	107
Referencias .....	108
<b>Capítulo 9</b>	
<b>Las plantas como aliadas para el combate al cambio climático .....</b>	<b>113</b>
Introducción .....	113
Cambio climático .....	113
Bioenergía .....	114
Pellets .....	116

¿Cómo afecta la bioenergía al ambiente? .....	117
¿Cuánta bioenergía es posible hacer sin perjudicar al medio ambiente? .....	118
¿Por qué usar bioenergía y no otras energías renovables? .....	119
<b>Biomateriales</b> .....	120
Biocarbón .....	120
Bioempaques .....	122
Fibras textiles .....	123
<b>Conclusión</b> .....	124
<b>Referencias</b> .....	125
 <b>Capítulo 10</b>	
<b>Materiales poliméricos a partir de plantas</b> .....	127
Introducción .....	127
Materiales basados en plantas y sus propiedades .....	128
1-Materiales lignocelulósicos.....	128
2- Almidón.....	129
3- Poli (ácido láctico) (PLA) .....	131
4- Hules naturales .....	132
5-Alginatos .....	133
Beneficios ambientales asociados con PBB a partir de plantas .....	134
1- Mitigación del impacto del cambio climático .....	134
2- Reducción de residuos/contaminación.....	135
3- Consumo de menos energía y recursos .....	136
Aplicaciones específicas conocidas de materiales basados en plantas.....	136
1- Embalaje .....	136
2- Energía .....	137
3- Salud .....	138
4- Industria automotriz.....	138
Conclusión .....	139
Agradecimientos .....	139
Referencias .....	140
 <b>Capítulo 11</b>	
<b>¿Sabías qué? : te contamos datos interesantes sobre plantas</b> .....	143
Introducción .....	143
El color de las plantas y los pigmentos fotosintéticos .....	144
¿Qué es la fotosíntesis? .....	147
Las “plantas acuáticas” en el tratamiento de aguas contaminadas .....	148
El Ramón: ¿La nuez Maya o el maíz de los Mayas? .....	150
Algunos de sus usos son:.....	153
Otras curiosidades del reino Plantae .....	154
Conclusiones.....	156
Referencias .....	157

## Capítulo 1

### Las plantas: Historia, usos ancestrales y actuales.

Ruiz-Lau Nancy<sup>1</sup>, Lopez-Puc Guadalupe<sup>2</sup>, Dominguez-May Angel Virgilio<sup>3</sup> y Cano-Sosa Julia<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> CONACyT-Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carretera Panamericana km. 1080, 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Subsede Sureste. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná puerto. Parque Científico Tecnológico de Yucatán. CP 97302 Mérida, Yucatán, México.

<sup>3</sup> Tecnológico Superior Del Sur Del Estado De Yucatán. Carretera Muna-Felipe Carrillo Puerto, tramo Oxkutzcab-Akil Km 41+400, Oxkutzcab, Yucatán, México, C.P. 97880.

\*autor de correspondencia: jcano@ciatej.mx

**Palabras clave:** Usos de las plantas, productos forestales, mejoramiento genético

### Introducción

El uso de plantas sobre todo con carácter medicinal se ha hecho desde la antigüedad y gracias a ello ha sido posible el origen de la medicina moderna (Salmeron-Manzano E. et al., 2020). Poniendo sólo un ejemplo de una de las especies que se usa como planta medicinal en algunas comunidades, la planta con nombre científico *Cissampelos pareira* L, la cual se conoce con varios nombres comunes como: oreja de ratón, tortilla de los sapos, hierba de la víbora entre otros.

Esta especie posee registros en México en los Estados de Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Colima, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Villaseñor y Espinosa, 1998; Rzedowski, 1999) y se utiliza para el tratamiento de la diarrea; se pueden encontrar ejemplares en todo el planeta y se usa tradicionalmente para el tratamiento de otras enfermedades (Mohammad A. et al., 2021) tales como úlceras, heridas, reumatismo, fiebre, inflamación, asma y malaria, entre otros padecimientos (Surekha K. et al., 2021).

Así como el ejemplo anterior, podemos mencionar que en nuestro entorno encontramos muchas otras especies de las cuales se conoce su utilidad debido a sus compuestos con actividad que aportan algún beneficio o conocemos su beneficio potencial por su uso ancestral o en medicina tradicional; por tanto podemos decir que no sólo forman parte de la historia transmisible, sino que también son importantes en la actualidad.

## El papel de las plantas

Las plantas son organismos arraigados al suelo que presentan órganos como raíces, flores y hojas (Escaso Santos *et al.*, 2010); éstas nos proporcionan alimento, madera, fibras y algunas de ellas hasta combustible (Figura 1). De igual manera, las plantas sirven de cobijo a gran variedad de seres vivos, protegen el suelo, regulan la humedad, contribuyen a la estabilidad del clima y nos brindan el oxígeno que respiramos, ya que son seres vivos autótrofos capaces de captar la energía luminosa del sol para fabricar su propio alimento (azúcares) utilizando agua y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a este proceso se le denomina fotosíntesis, en el cual se libera el oxígeno que respiramos como un subproducto (INTAGRI, 2018).



Figura 1. Beneficios de las plantas y derivados de ellas aprovechados por el hombre.

## Mutualismo entre plantas y animales

Los bosques tienen importancia no sólo como parte del paisaje (ecoturismo), sino que proporcionan cobijo a un gran número de especies animales e insectos; esta interacción trae ventajas para ambos reinos.

La mayoría de las plantas con flores o angiospermas dependen de los animales que visitan las flores para el transporte de polen entre individuos de la misma especie. Asimismo, muchos grupos de animales funcionan como polinizadores (escarabajos, moscas, abejas, murciélagos, avispas, mariposas, colibríes, etc.) y dependen total o parcialmente de los recursos ofertados por las flores (polen, néctar, partes florales, ceras, resinas, etc.) para su supervivencia. Esta interacción es la que las plantas ofrecen un recurso a los animales a cambio de un servicio

que les permite reproducirse sexualmente, constituye una interacción de tipo mutualista ya que ambas partes, por lo general, resultan beneficiadas (Barrios Orozco, 2020).

## Productos forestales aprovechados por el hombre

El ser humano ha sabido sacar provecho de estos seres vivos mediante el aprovechamiento de la madera, resinas, aceites, ceras, etc.; estos son considerados como productos forestales (maderables y no maderables) beneficiosos para la sociedad humana (Cuadro 1).

Los ecosistemas forestales son fundamentales como un componente esencial de los sistemas biogeoquímicos del planeta, primordiales en el ciclo del agua, fijadores de nitrógeno, refugio natural de la flora y fauna y contribuyen a la mitigación de los efectos dañinos de dicho cambio (López y Flores, 2020)

## Productos Forestales No Maderables

El término Productos Forestales No Maderables (PFNM), fue empleado por primera vez por De Beer y McDermott (1989), quienes propusieron la siguiente definición: "...los productos forestales no maderables abarcan todos los materiales biológicos diferentes a la madera, que se extraen de los bosques para uso humano..."

De acuerdo con la FAO (2007), los PFNM son bienes de origen biológico, distintos de la madera, derivados del bosque, de otras áreas forestales y de árboles fuera de los bosques, que pueden recolectarse en forma silvestre o producirse en sistemas agroforestales o plantaciones forestales. Lo que define al producto es que es útil para la sociedad humana (Téllez-Velasco y Tejeda-Sartorius, 2017).

En México actualmente los registros oficiales sólo distinguen siete categorías de PFNM, de las cuales seis son individuales y una general (Cuadro 1). Entre las categorías reconocidas se encuentran las siguientes: 1) "*Resinas*" las cuales se extraen de algunas especies de género *Pinus* y *Abies*; 2) "*Fibras*" para cordelería, textiles, etc.; 3) "*Gomas*" utilizadas en la industria alimenticia, así como en ungüentos, bálsamos, cosméticos y pegantes; 4) "*Ceras*" por ejemplo, candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*); 5) "*Rizomas*" empleados tanto para la extracción de sustancias de interés farmacéutico (por ejemplo *Dioscorea composita*), como para uso alimenticio (Aráceas); 6) "*Tierra de monte*" mezcla de diferentes suelos forestales que se demanda para jardines, parques, hogares y viveros y 7) "*Otros productos*", categoría general que abarca una gran diversidad de bienes tales como frutos, hongos, semillas, plantas medicinales, plantas ornamentales (Téllez-Velasco y Tejeda-Sartorius, 2017).

No maderables	
Categoría	Industria
Resinas	Automotriz, química
Fibras	Textil
Gomas	Alimenticia, cosmética
Ceras	Alimenticia
Rizomas	Farmacéutica y alimenticia
Tierra de monte	Jardinería
Otros (hongos, frutos, semillas, ornamentales, etc.)	Alimenticia, farmacéutica, cosmética

Cuadro 1. Productos forestales No maderables aprovechados por el hombre (Adaptado de Téllez-Velasco y Tejeda-Sartorius, 2017)

## Productos Forestales Maderables

El Cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) pertenece a la familia Meliaceae, los cuales tienen como centro de origen América tropical. Se distribuye en el territorio mexicano desde la vertiente del golfo, desde el sur de Tamaulipas y sureste de San Luis Potosí hasta la península de Yucatán y la del Pacífico, desde Sinaloa hasta Guerrero y en la depresión central y la costa de Chiapas. Su importancia económica se debe a que es una de las especies maderables con más demanda en la industria forestal de México. Su madera, de características excelentes, es usada para obtener madera aserrada y chapa para madera terciada (Romo-Lozano *et al.*, 2017). Entre sus otros usos, se incluyen la fabricación de instrumentos musicales, muebles finos, productos aromatizantes y medicinales (hoja, raíz, corteza, semilla y tallo) en infusiones para distintos padecimientos (Romo-Lozano *et al.*, 2017).

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 059(NOM-059), el cedro rojo en México se encuentra en la categoría sujeta a protección especial; es una especie que podría llegar a encontrarse amenazada, por lo que es necesario promover su recuperación y conservación (Romo-Lozano *et al.*, 2017).

Otra especie importante son las coníferas, importantes comercialmente por ser maderables; en México 87% de la producción de madera proviene de ellas (Bernal-Ramírez *et al.*, 2019); éstas se agrupan dentro de las gimnospermas, plantas con semillas desnudas. Las especies vivientes comprenden poco más de 1000, pero representan cuatro de los cinco linajes principales de plantas con semilla y tienen un gran valor ecológico y económico.

En México, crecen de manera natural alrededor de 156 especies de gimnospermas (Bernal-Ramírez *et al.*, 2019). El pino es la principal conífera de clima templado y frío en México, se distri-

buye en 24 estados de la república, de los cuales sobresalen dos en la región Centro Norte del país, uno en la Occidente, uno más en el sur y dos en la Golfo Centro (López y Flores, 2020).

Otra especie muy apreciada es *Tectona grandis* L. f. (teca) es una especie forestal maderable que se planta a gran escala en los trópicos del mundo. Su madera tiene alta demanda en el mercado internacional gracias a sus excelentes propiedades tecnológicas, es considerada por algunos expertos como la madera más valiosa del mundo (Tamarit-Urias *et al.*, 2019). En México, para el año 2014, la superficie plantada de teca alcanzó 25 324 ha que representó el tercer lugar en importancia con una tendencia creciente (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2014 en Tamarit-Urias *et al.*, 2019).

## Múltiples usos de colorantes obtenidos de plantas

En nuestros días los colorantes que normalmente conocemos son sintéticos, sólo basta con leer la lista de ingredientes de muchos de los productos que consumimos para darnos cuenta que los colores llamativos que nos impulsan a comprar ciertos dulces, bebidas y demás productos procesados son artificiales amén de que pueden ocasionar efectos nocivos en nuestro cuerpo. Brudzyńska *et al.*, 2021.

En la actualidad el consumidor está en busca de alimentos novedosos pero que además den aporte a la salud y en las plantas encontramos metabolitos como los carotenoides que son moléculas funcionales y se encuentran en una gran variedad de plantas, en lugares como son los frutos y las flores, por lo que compuestos como estos que son los responsables de proporcionar color en las plantas pudieran extraerse y utilizarse como sustitutos de los colorantes sintéticos que actualmente se utilizan y con beneficios como ser fuente de antioxidantes y demás actividades reportadas para moléculas bioactivas. En la antigüedad los colorantes obtenidos de plantas se utilizaban para teñir objetos como vasijas, ropa y cuerpo (Quintriqueo *et al.*, 2011)

## Mejoramiento genético de las plantas

La agricultura ha desempeñado un papel esencial en el surgimiento de la civilización humana. El cultivo de especies domesticadas por el hombre permitió la evolución de muchas especies de plantas (Samantara *et al.*, 2021).

Las plantas que comemos o que utilizamos con fines ornamentales son el resultado de una larga historia de domesticación de especies silvestres por parte de los humanos (Figura 1). El mejoramiento genético de las plantas permite la mejora de diferentes características; por ejemplo, plantas que producen mayor cantidad y mejor calidad de frutos y semillas, plantas con mejor capacidad de respuesta a diferentes factores que las afectan como las plagas y enfermedades, así como mejor respuesta a condiciones estresantes como la sequía y la salinidad.

En los inicios, la primera forma de mejoramiento genético fue la “selección” de los rasgos sobresalientes de la población de las plantas que crecían en el campo, por ejemplo, la selección podría ser por el sabor, color, tamaño de los frutos, flores, por el tamaño de la planta, la productividad o alguna otra característica en particular. En esa época se desconocían las causas que hacían que estos rasgos fueran diferentes en las plantas. Los descubrimientos de las leyes fundamentales de la herencia realizados por Gregor Mendel, permitió al ser humano entender que cada rasgo de los cultivos está controlado por los genes y que la combinación de genes de ambos lados de los padres controla el fenotipo de un individuo planta.

La Ley de la Herencia de Mendel proporcionó la base para la mejora tradicional y, posteriormente, para el cultivo molecular y transgénico. Durante mucho tiempo, para obtener determinadas características, se combinaron los rasgos deseables mediante la realización controlada de cruza y retrocruza (Zhang et al., 2021).

Los métodos de mejora genética por métodos tradicionales o métodos modernos como el uso de la ingeniería genética han permitido generar gran cantidad de nuevas variedades de especies de interés comercial; por ejemplo, en el año 2020 se liberaron 570 variedades de arroz (*Oryza Sativa*) en 10 países de África (Futakuchi et al., 2021). Otra especie que ha sido domesticada y que es representativa para México es el Maíz (*Zea Mays*), de la cual se sabe que desde que comenzó el proceso de domesticación de sus ancestros silvestres, el rendimiento siempre ha sido el objetivo central de los programas de mejora.

En la actualidad existen diferentes tipos de maíz para fines específicos (maíces especiales); por ejemplo, el maíz para ensilaje, el maíz ceroso, maíz con alto contenido en amilosa, maíz con alto contenido en aceite, maíz con alto contenido en proteínas, maíz dulce y palomitas de maíz, maíz para producción de bioetanol. La superficie de siembra de maíces especiales ha aumentado considerablemente desde principios del siglo XX. Ejemplo de ello es el maíz ceroso que se descubrió en la década de 1900 y su superficie de plantación ha alcanzado 800,000 hectáreas en China (Liu et al., 2020).

Entre las técnicas más modernas para el mejoramiento genético de plantas podemos mencionar la tecnología de edición genética CRISPR / Cas, la cual ha proporcionado un nuevo enfoque para la mejora de cultivos y ofrece un interesante abanico de posibilidades para obtener variedades con características nuevas y más saludables. La tecnología se basa en dos pilares fundamentales: por un lado, conocer las secuencias completas del genoma y, por otro, identificar las funciones de los genes. En menos de una década, la perspectiva de poder diseñar plantas bajo demanda ya no es un sueño, sino una posibilidad real (Gómez et al., 2021) .

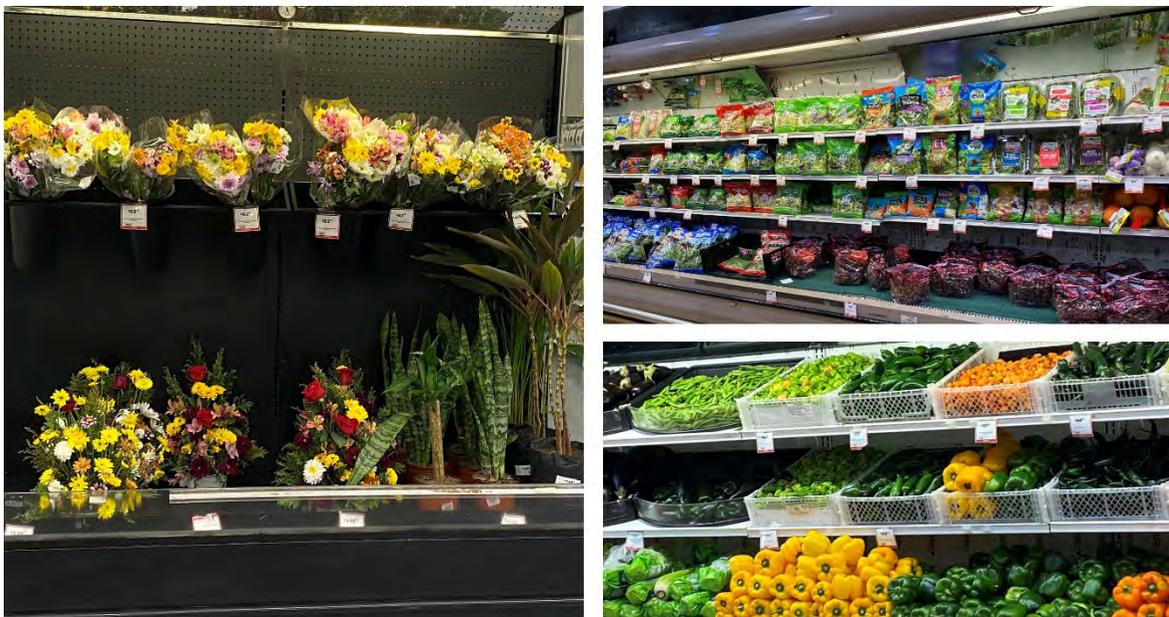


Figura 1. Frutos y flores que son producto de la mejora genética de plantas

## Conclusión

Como el título lo indica, las plantas tienen una historia relevante, no sólo nos proveen de oxígeno y alimento, son organismos vivos, recurso fitogenético que tanto en la ciencia como en nuestra vida diaria aportan beneficios a la salud y a nuestro medio ambiente. Es por ello que desde tiempos remotos su domesticación y la variabilidad genética ha permitido su evolución y a nosotros el poder utilizarlas, así como en un futuro continuar explorando de manera sustentable los beneficios y potenciales de la diversidad genética de plantas en México y el mundo.

## Referencias

- Barrios Orozco, Y. C. (30/Enero/2020). Las plantas y los polinizadores: mutualistas inmersos en una red compleja de interacciones. Desde el Herbario CICY 12, 16-20. [http://www.cicy.mx/sitios/desde\\_herbario/](http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/). ISSN: 2395-8790
- Bernal-Ramírez, L. A., Bravo-Avilez, D., Fonseca- Juárez, R. M., Yáñez-Espinosa, L., Gernandt, D. S. y Rendón- Aguilar, B. (2019). Usos y conocimiento tradicional de las gimnospermas en el noreste de Oaxaca, México. *Acta Botanica Mexicana*, 126, e1471. doi: 10.221829/ abm126.2019.1471.
- Escaso Santos, F., Martínez Guitarte, J. L. y Planelló Carro, M.a del R. (2010). Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal. PEARSON EDUCACIÓN, S. A., Madrid. ISBN: 978-84-832-2735-0 Cap. 1.
- Futakuchi, K., Senthilkumar, K., Arouna, A., Vandamme, E., Diagne, M., Zhao, D., Manneh, B., & Saito, K. (2021). History and progress in genetic improvement for enhancing rice yield in sub-Saharan Africa. In *Field Crops Research* (Vol. 267). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108159>
- Gómez, C., Concha, M., & Mena, G. (2021). PLANTS ON DEMAND Genome editing for plant improvement. *Métode Science Studies Journal*, 11, 25–29. <https://doi.org/10.7203/metode.11.15507>
- INTAGRI. (2018). Plantas C3, C4 y CAM. Serie Nutrición Vegetal, Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 125, 5p.
- Liu, J., Fernie, A. R., & Yan, J. (2020). The Past, Present, and Future of Maize Improvement: Domestication, Genomics, and Functional Genomic Routes toward Crop Enhancement. In *Plant Communications* (Vol. 1, Issue 1). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2019.100010>
- López, G. M. y Flores, A. (2020). Importancia económica del pino (*Pinus* spp.) como recurso natural en México. *Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(60), 161-185, doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.720>
- Mohammad A., Jayesh D. , Sandeep Y. , Chandra K. (2021). Hepatoprotective activity of hydroalcoholic extract of *Cissampelos pareira* linn. leaves against CCl4-induced acute and chronic hepatotoxicity. *Egyptian Pharmaceutical Journal*. 20:126-133.
- Romo-Lozano J. L., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J. y Ávila Angulo, M. L. (2017). Estimación del valor financiero de las existencias maderables de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en México. *Madera y Bosques* 23(1), 111-120, doi:10.21829/myb.2017.231473
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski, 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Salmerón-Manzano E., Garrido-Cardenas J. A and Manzano-Agugliaro F. (2020). Worldwide Research Trends on Medicinal Plants. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 3376 (17):1-20
- Samantara, K., Shiv, A., Lopes de Sousa, L., Singh Sandhu, K., Priyadarshini, P., & Ranjan Mohapatra, S. (2021). *A comprehensive review on epigenetic mechanisms and application of epigenetic modifications for crop improvement*. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104479>
- Surekha K., Anmol V., Patil-Shivprasad S. and Upendra S. (2021). *Cissampelos pareira* L.: A review of its traditional, uses phytochemistry and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*. Vol. 274. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.113850>
- Tamarit-Urias, J. C., De los Santos-Posadas, H. M., Aldrete, A., Valdez-Lazalde, J. R., Hugo Ramírez-Maldonado y Guerra-De la Cruz, V. (2019). Sistema de crecimiento y rendimiento maderable para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. f.) en Campeche, México. *Madera y Bosques* 25(3), doi: 10.21829/myb.2019.2531908
- Téllez-Velasco, M. A. A., Tejeda-Sartorius, O. (2017). Importancia y aprovechamiento sustentable de productos forestales no maderables en bosques de niebla: estudio de caso en orquídeas. *Agroproductividad*, 10(6), 46-53.
- Villaseñor R., J. L. y F. J. Espinosa G., 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Zhang, D., Zhang, Z., Unver, T., & Zhang, B. (2021). CRISPR/Cas: A powerful tool for gene function study and crop improvement. In *Journal of Advanced Research* (Vol. 29, pp. 207–221). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.10.003>

## Capítulo 2

### Las plantas en nuestra alimentación diaria

Cuevas-Bernardino Juan C<sup>1</sup>, Aguayo-Rojas Jesús<sup>2</sup>, López-Vidaña Erick César<sup>3</sup>, Ayora-Talavera Teresa<sup>4</sup>, Pacheco Neith<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>CONACYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste, Tablaje Catastral 31264 km 5.5 Carr. Sierra Papacal-Chuburná puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, CP 97302, Mérida, Yucatán, México.

<sup>2</sup>Programa Académico Químico en Alimentos, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Zacatecas, Carretera Zacatecas-Guadalajara Km 6, La Escondida. Zacatecas, Zacatecas, CP. 98160, México.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Sustentable - Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Subsede Durango. Calle CIMAV #110, Ejido Arroyo Seco, Durango, Dgo., C.P. 34305. Tel. 614 439 4898, México.

<sup>4</sup>Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste, Tablaje Catastral 31264 km 5.5 Carr. Sierra Papacal-Chuburná puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, CP 97302, Mérida, Yucatán, México.

\*autor de correspondencia: npacheco@ciatej.mx

**Palabras clave:** Las plantas en la alimentación, compuestos bioactivos, compuestos fenólicos, sustentabilidad

### Introducción

La alimentación es un derecho humano reconocido universalmente, sin embargo, cerca de 852 millones de personas en el mundo padecen de inseguridad alimentaria convirtiéndose en uno de los desafíos más grandes de la sociedad (Chauhan & Rathod, 2020). En este sentido, el desperdicio de alimentos juega un papel importante, ya que más del 30 % de los alimentos que se producen se pierden cada año (Hasan Masud et al., 2020).

Se ha estimado que la población mundial superará los 9 mil millones para el año 2050 y si no se afianzan las estrategias adecuadas para mitigar la pérdida y desperdicio de alimentos, estas cifras podrían ir en aumento. Por otra parte, la producción y consumo de plantas y partes de ellas a nivel mundial es insuficiente, lo cual puede visualizarse como una ventana de oportunidad entre las necesidades de producción de alimento y los parámetros dietéticos necesarios en la actualidad, así como la ingesta de alimentos recomendados por instituciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), que sugiere un consumo mínimo de 400 g de vegetales y frutas por persona por día (Kriesemer et al., 2021).

México es un país con gran biodiversidad y riqueza natural ya que alberga aproximadamente 26,000 especies de plantas superiores, lo que representa el 10 % de la flora mundial (Lara et al., 2011). Desde tiempos prehistóricos, las plantas comestibles han sido una parte importante

en la dieta del ser humano (Copeland & Hardy, 2018) y en México, las culturas precolombinas ya las consumían desde tiempos ancestrales (Zizumbo-villarreal & Flores-silva, 2012).

La diversidad de plantas en México con potencial para ser empleadas en usos alimenticios o medicinales son de alrededor de 5000 especies de diferentes familias botánicas.

Es importante destacar que las plantas cuentan con una cantidad enorme de compuestos bioactivos que pueden ser utilizados en la conservación de alimentos además de tener la capacidad de elaborar alimentos funcionales que tengan algún efecto benéfico en la salud humana (Patrón-Vázquez et al., 2019). Así mismo, el conocimiento de los compuestos benéficos que encontramos en los alimentos como los compuestos fenólicos es de gran interés, ya que nos permite conocer sus aplicaciones tanto como agentes antimicrobianos, antioxidantes o funcionales (N. Medina-Torres et al., 2017).

### **Principales plantas utilizadas en la alimentación mexicana**

La mayoría de las plantas comestibles autóctonas de México son subvaloradas debido a que hay poca información disponible sobre su valor nutritivo, además de que un sector de la población las considera de bajo prestigio social (López-García et al., 2017). En esta categoría se encuentran muchas de las plantas referidas en la actualidad (y también desde la época prehispánica) como “quelites”; sin embargo, otras plantas silvestres tuvieron que experimentar cambios biológicos más profundos para poder reproducirse fuera de sus áreas naturales de distribución (McClung de Tapia & Martínez-Yrizar, 2017).

Desde tiempos prehispánicos, algunas especies vegetales como huauzontles (*Chenopodium nuttalliae*), quelites (*Chenopodium album*), quintoniles (*Amaranthus hypochondriacus*), romeritos (*Suaeda calceoliformis*) y verdolagas (*Portulaca oleracea*) han sido recursos importantes para la alimentación de diversas comunidades indígenas; actualmente, su consumo forma parte de las costumbres y tradiciones de la población de diversas regiones del país (Román-Cortés et al., 2018)consumption of purslanes (*Portulaca oleracea*. Estas especies de plantas crecen como malezas de otros cultivos como maíz (*Zea mays*), chile (*Capsicum annum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y café (*Coffea arabica*), aunque no representan una competencia significativa para éstos (Lara et al., 2011); por su demanda comercial también se cultivan en regiones templadas y tropicales para consumo como ingredientes en la preparación de platillos de importancia cultural (Román-Cortés et al., 2018)consumption of purslanes (*Portulaca oleracea*. También existen otras plantas que además de su ya conocido uso alimenticio, adicionalmente son empleadas con un uso medicinal, como los son el Alache (*Anoda cristata*), la Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) y el Chepil (*Crotalaria pumila*) (Gomez-chang et al., 2018).

Las comunidades campesinas de México mantienen una estrecha relación con la vege-

tación que les rodea; se calcula que aprovechan más de 500 especies de plantas comestibles silvestres; pueden ser hojas, tallos y flores; las cuales forman parte de su patrimonio natural y cultural. Estos recursos vegetales permiten su supervivencia y les dan identidad debido a que son parte de su dieta, vestimenta y festividades, estas plantas son consumidas usualmente cuando son inmaduras y son a menudo comidas crudas o ligeramente cocidas con agua caliente (Balcázar-Quiñones et al., 2020; Bye, 1981; Lascurain et al., 2010).

Familias como *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Fabaceae*, *Amaranthaceae*, *Chenopodiaceae* y *Brassicaceae* agrupan cerca del 90% de las plantas que se consumen como quelites en México (Balcázar-Quiñones et al., 2020). Al consumir la amplia diversidad de quelites contribuimos a la conservación de la agrobiodiversidad mexicana y enriquecemos nuestra alimentación con sus aromas, colores, texturas, sabores y nutrientes. En la figura 1 se muestran algunas de las principales plantas utilizadas en la alimentación diaria y tradicional de la región centro y sur del país



Figura 1. Ejemplos de algunas plantas comestibles en México (quelites).

En México los quelites son parte importante del grupo de plantas silvestres, arvenses y ruderales. La palabra quelite se deriva del náhuatl *quilit*, término genérico para designar plantas cuyo follaje es comestible y que se distingue de otras que designan a las hierbas en general (Basurto-Peña et al., 1998).

En los estudios sobre quelites se han obtenido numerosos aportes: primero, se ha contribuido a documentar la extensa riqueza cultural y biológica del país; segundo, dichos estudios desdican la noción generalizada de que la dieta rural es monótona, mostrando que el consumo de quelites y otros recursos silvestres complementa la alimentación basada en maíz, frijol y cala-

baza, y contribuye a subsanar las deficiencias en la producción de alimentos de origen agrícola (Basurto-Peña et al., 1998; Bye, 1981); tercero, los estudios ayudan a comprender mejor el uso diversificado y complementario de los recursos naturales, resaltando el manejo de las plantas silvestres como una práctica vigente e importante que ha coexistido con la agricultura durante miles de años (Basurto-Peña et al., 1998; Bye, 1981; Casas et al., 1987).

Los quelites como hortalizas también ocupan un lugar destacado entre las plantas de consumo, las fuentes históricas citan aproximadamente 164 plantas que fueron designadas como quelites en el México prehispánico; actualmente, su consumo ha sido desplazado por otras plantas comestibles de mayor valor comercial (Rojas-Garbanzo et al., 2011) y por factores ambientales, cambios en los hábitos alimentarios, transformación del hábitat, etc. (Castro-Lara et al., 2014; Lara et al., 2011).

Los principales estados del país donde se cultivan los quelites son: Puebla, Querétaro, Hidalgo, Morelos, Tlaxcala, México y la Ciudad de México. En nuestro país existe un inventario de plantas comestibles, que comprende 244 especies, 121 géneros y 46 familias botánicas estas plantas son componentes importantes, en la seguridad alimentaria debido a su valor nutrimental, ya que son una fuente vitaminas, minerales, fibra y compuestos fitoquímicos para la nutrición humana (Díaz-josé et al., 2019). Muchas de ellas son parte de tradiciones gastronómicas regionales y de identidades culturales (Koker et al., 2018).

Dentro de las variedades de quelites, se encuentra el quintonil (*Amaranthus hybridus*) que crece como maleza y es utilizado como alimento para animales. Es un vegetal autóctono de México y es consumido crudo, hervido, frito o al vapor, en ciertas zonas del país. Algunos reportes en la literatura destacan al quintonil por su contenido balanceado de aminoácidos y por contener compuestos bioactivos como clorofila, compuestos fenólicos y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) (López-García et al., 2017).

Como una planta herbácea, las hojas son la parte comestible, las cuales son ricas en polisacáridos, vitamina y minerales. En el caso de los romeritos, las hojas son alargadas igual al romero, pero son más tiernas y carecen de aroma. La planta puede llegar a medir un metro de altura en su estado de madurez. El romerito se corta en su estado juvenil a los 60 o 70 días de sembrado; la cosecha dura dos meses y para tener suficiente producto en temporada decembrina, se siembra en octubre, mientras que en enero o febrero se siembra lo que se venderá en Semana Santa. Hay muy poca información acerca de estas especies, pero se tienen contadas 12, de las cuales cinco son endémicas de México; la que se aprovecha comercialmente es la variedad *Suaeda* spp (SIAP, 2019).

El huauzontle es, al igual que el maíz, uno de los alimentos que México aportó al mundo. Su nombre significa bledo o tallo semejante a cabello; con él se preparan platillos mexicanos,

con un toque especial de acuerdo con cada región. El nombre de *Chenopodium* procede del griego (Chen; ganso, y podion; pie) haciendo referencia a la semejanza de las hojas con los pies de los gansos. Perteneciente a la familia *Chenopodiaceae* que comprende 100 géneros y 1400 especies aproximadamente. Los nombres comunes más popularmente utilizados en diversas comunidades son: huauhtli, huautli, guauhtli, guautli, guahuquizlitli, guatzontli, todos ellos derivados del Náhuatl (Xingú-López et al., 2018). El huauzontle se siembra en pequeñas superficies, generalmente a la orilla de otros cultivos como maíz, cempasúchil, frijol y calabaza, cultivado en siembra directa o trasplante.

Debido a la importancia económica local o regional, las verdolagas son las hortalizas ancestrales de mayor demanda, por lo que se han implementado algunas técnicas para su cultivo (parcelas individuales de manejo intensivo y cultivo hidropónico, principalmente) (Román-cortés et al., 2018)

A pesar de la riqueza productiva y la gran diversidad vegetal, son muy pocos los trabajos que han estudiado la presencia de compuestos nutraceuticos y antioxidantes en hortalizas de uso ancestral. Debe notarse que estas variedades de plantas (quelites, huazontles, quintoniles, romeritos y verdolagas) son las más consumidas en las poblaciones rurales y han presentado valores de capacidad antioxidante mayores a lo obtenido en vegetales de hoja comerciales como lechuga y espinaca (Román-cortés et al., 2018); esto sugiere que los quelites pueden ser una importante fuente de fitoquímicos con potencial antioxidante con efectos benéficos a la salud, es evidente que, al incluir quelites en la dieta, su contribución de compuestos bioactivos sería trascendental en poblaciones con problemas de malnutrición y de enfermedades causadas por malos hábitos alimenticios.

Recientemente, estudios epidemiológicos han mostrado que en la población existe una relación inversa entre la ingesta de alimentos nutraceuticos y la aparición de ciertas enfermedades crónicas (Chintale Ashwini et al., 2013).

## **Diferentes partes de las plantas y sus usos en la alimentación**

Dentro de las partes comestibles de las plantas encontramos las raíces, hojas, tallos, frutos y flores (Figura 2); por sus peculiares sabores, aromas, colores, nutrientes y fitoquímicos han emergido como nuevas tendencias para la nutrición humana y esto ha generado el incremento de la atención de los científicos y tecnólogos en diversas investigaciones para el desarrollo de productos nutraceuticos o alimentos funcionales (Chen et al., 2020; Rivas-García et al., 2020).

Considerando la gran producción de raíces comestibles en diferentes países, el consumo en todo el mundo y la disponibilidad de sus compuestos de alto valor nutricional, así como la

presencia de varios compuestos bioactivos de interés, esta parte comestible de las plantas es considerada una buena opción alimentaria con un gran potencial que ha sido explotada por el sector agroalimentario tanto para su uso por los consumidores en diferentes preparaciones de comidas cotidianas como en la formulación de alimentos funcionales con valor agregado (de Albuquerque et al., 2019).

Las raíces y tubérculos no son sólo una fuente de elementos funcionales en la dieta, sino que son unas fuentes muy importantes y complementarias de energía, proteína y minerales en la dieta cotidiana de las personas de muchas regiones del mundo (Leidi et al., 2018). Estos cultivos de tubérculos y raíces almidonosos son el segundo grupo más importante en la alimentación humana como fuentes de carbohidratos, únicamente por debajo del grupo de los cereales y cabe indicar que estas plantas de fuentes botánicas diversas, suelen almacenar el almidón comestible en partes comestibles como tallos subterráneos, raíces, rizomas, bulbos y tubérculos subterráneos y se han reportado además del almidón otros compuestos como compuestos fenólicos, saponinas, proteínas bioactivas, glicoalcaloides y ácidos fítics (Chandrasekara & Josheph Kumar, 2016).

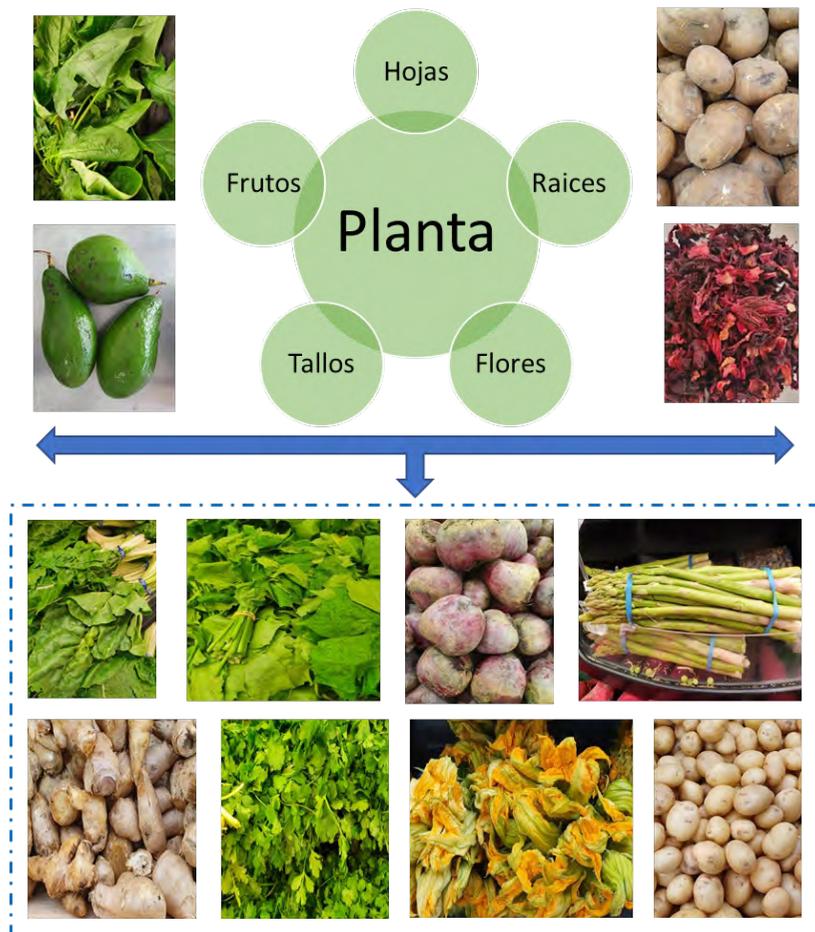


Figura 2. Diversidad de partes de plantas (hojas, tallos, raíces, frutos y flores) utilizadas en la alimentación humana.

Otras partes comestibles de las plantas ampliamente usadas en la alimentación mundial son sus hojas, las cuales presentan una excelente popularidad por sus beneficios saludables en comidas frescas como ensaladas, guarniciones o complementos de comidas típica; en este sentido, se pueden mencionar a las espinacas (*Spinacia aleracea* L.), lechugas (*Lactuca sativa*), acelgas (*Beta vulgaris* var. cicla), cilantro (*Coriandrum sativum*) y chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) entre otras.

En México, más de 250 especies de plantas con hojas comestibles llamados “quelites” (*Amaranthus*, *Chenopodium*, *Begonia*, *Crotalaria*, *Anoda*, *Cyclanthera*, *Calandrinia*, *Porophyllum*, *Taraxacum*, *Tinantia*, *Xanthosoma*, *Lippia*, *Piper*, *Peperomia* y *Galinsoga*) son colectados o cultivados y consumidos directamente de manera fresca o mínimamente procesados en una gran variedad de platillos tradicionales en comunidades rurales e indígenas por sus significantes cantidades de carbohidratos, grasas, fibra dietética, proteínas, vitaminas y minerales, las cuales son comparables a aquellas de hojas comestibles de vegetales convencionales (Mateos-Maces et al., 2020).

En las últimas décadas, se ha incrementado el uso de flores comestibles en la cocina mundial, esto con el fin de aumentar el atractivo visual de los platillos de los alimentos, pero ahora también se ha incrementado su popularidad por las moléculas bioactivas benéficas que contienen, por lo general, dichas partes comestibles de las plantas se comen enteras, pero en algunos otros casos solo se consumen sus pétalos, por ejemplo: pétalos de tulipanes (*Tulipa* spp.), crisantemos (*Chrysanthemum* spp.) o rosas (*Rosa* spp.) (Mlcek & Rop, 2011; Mulík & Ozuna, 2020). Además, las flores comestibles son clasificadas dentro de cuatro grupos según la fuente de la que procedan como flores vegetales, flores de frutas, flores de hierbas medicinales o flores aromáticas y sus partes comestibles pueden incluir la flor entera, pétalos, cálices, corola o polen, dichas partes son ricas en compuestos fitoquímicos como flavonoides, antocianinas, carotenoides y compuestos fenólicos responsables de efectos que promueven la salud humana (Chen et al., 2020; Kumari et al., 2021).

La cocina tradicional mexicana ha hecho uso de flores comestibles durante mucho tiempo, con más de 100 especies empleadas en los comidas y bebidas típicas; por ejemplo, la flor de *Hibiscus sabdariffa* llamada en México flor de jamaica (Figura 3a), la cual es usada en la preparación de una bebida mexicana típica llamada agua de Jamaica; otra flor muy utilizada en la cocina mexicana es la *Cucurbita* spp. o mejor conocida como flor de calabaza (Figura 3b), dicha flor es ampliamente consumida como sopa o como relleno de una gran variedad de platillos, como chiles rellenos, tamales, tacos y quesadillas: adicionalmente, hay otras flores comestibles utilizadas en la cocina mexicana tales como: *Erythrina americana* (gasparito, colorín, pichoco, espadita, machetito, pemuche, pispirique, gallito, pipe, flor de zompante, equimite), *Yucca* spp. (flor de yuca, flor de izote, chochas, palma loca, palma pita, palma china), *Tagetes erecta* L. (flor de muertos, flor de difunto, flor de cempoal, veinte flores y cempasúchil), *Dahlia* spp., *Agave* spp. (flor de agave) y *Opuntia ficus-indica* (flor de nopal) (Mulík & Ozuna, 2020).



Figura 3. Flores utilizadas en la alimentación: (a) jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y (b) flor de calabaza (*Cucurbita* spp.).

### Compuestos bioactivos en plantas para utilizarlos en alimentos

Es bien conocido que el uso de plantas ya sea consumido como tal o al obtener sus frutos o vegetales, se ha asociado a una alimentación saludable que pueda prevenir o hasta proteger el riesgo de enfermedades crónicas y degenerativas; lo anterior correlacionado a la diversidad de plantas y a la riqueza que ellas poseen en compuestos bioactivos, así como sustancias naturales que además de proporcionar nutrición también mejoran las condiciones de salud (Pacífico et al., 2019). Estos compuestos son conocidos comúnmente como compuestos fitoquímicos, que son metabolitos secundarios biosintetizados por las plantas como respuesta o resultado a factores bióticos o abióticos en algunos casos para defenderse de depredadores o compuestos volátiles que funcionan como atrayentes de sus mismas u otras especies (Pacífico et al., 2019)

Dentro del principal grupo de sustancias consideradas como compuestos bioactivos de las plantas, son los compuestos antioxidantes, principalmente los compuestos fenólicos ya que han demostrado prevenir o reducir el estrés oxidativo relacionado con diversas enfermedades al neutralizar, desactivar o suprimir especies de radicales libres (Pacífico et al., 2019).

Los compuestos fenólicos han sido clasificados de diversas maneras, sin embargo dentro de los más importantes encontramos a los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, polifenoles, entre otros compuestos que también se encuentran ampliamente distribuidos en las plantas, frutos y vegetales (Rashmi & Negi, 2020).

En particular los ácidos fenólicos se encuentran contenido en un sinnúmero de plantas y la cantidad de estos dependen de la exposición al estrés biótico y abiótico, variedades, temporadas, etc. Estos ácidos generalmente se encuentran en mayor cantidad en las flores, raíces, hojas y vegetales con hojas: dentro de los más abundantes encontramos a los ácidos gálico, hidroxibenzóico, ácido cafeico, ferúlico y cinámico y su principal actividad biológica reportada es la actividad antioxidantes que previene la formación de radicales libres, además de poseer una alta capacidad anti inflamatoria relacionada con la prevención de enfermedades cardiovasculares, en la tabla 1 se presentan algunos de los principales compuestos fenólicos obtenidos de plantas y ejemplos de ellos (Rashmi & Negi, 2020). Durante la elaboración de alimentos los compuestos

fenólicos en general y los ácidos fenólicos particularmente, se encuentran expuestos a diferentes métodos de procesamiento, tales como blanqueamiento, vapor, presiones de vapor, freído, asado, pasteurización, envasado, congelamiento y son almacenados a diferentes temperaturas; sin embargo algunas de estas técnicas pueden afectar su estabilidad y por consiguiente su actividad biológica, mientras que otras favorecen su conservación (Rashmi & Negi, 2020).

De manera general el consumo de vegetales de hojas verdes contribuye en gran medida en la cantidad total de polifenoles que se deben de consumir por persona al día ( $81 \pm 42$  mg) y de ácidos fenólicos ( $51 \pm 26$  mg), que provienen generalmente de las papas, cebollas, espinacas, además del consumo de frutos y otros vegetales, en la tabla 1 se presentan algunos de los principales compuestos fenólicos presentes en plantas, vegetales y frutos, así como ejemplos de ellos y su clasificación.

Tipos de compuestos fenólicos		Ejemplos	Donde se pueden encontrar
Ácidos fenólicos		ácido gálico, ácido vanílico, ácido cinámico, ácido ferúlico, ácido cafeico	brócoli, papas, alcachofa, coles de Bruselas, hojas de vegetales verdes, espinacas, hojas de estevia
Cumarinas		derivados de cumarinas	Frutos rojos como fresas cerezas y melocotones
Flavonoides	Flavonas	apigenina, luteolina, tangeritina	diversos vegetales y frutos
	Flavonoles	quercetina, miricetina, kanferol	brócoli, cebolla, uvas, lechuga y calabaza
	Flavanonas	naringenina, hesperidina	Frutos cítricos
	Flavanonoles	taxifolina, romadendrina	
	Flavanoles	catequina, epicatequina	Gran variedad de frutos y vegetales
	Antocianidinas	cianidina, delphinidina, pelargonidina	diversos tipos de moras
Isoflavonoides	Isoflavonas y Cumarinanos	genesteina, glicetina, cumestrol	derivados de soja
Estilbenos	Derivados de estilbenos	resveratrol, piceatanol	moras, uvas y cacahuates
Polifenoles	Taninos condensados y taninos hidrolizables	procianidina, prodelphinidina, propelargonidina galotaninos, elagitaninos	cáscara de manzana, perejil, uva
	ligninas		Vegetales, semillas, frutos y granos

Tabla 1. Clasificación de principales compuestos fenólicos, ejemplos y plantas en donde se pueden encontrar. Información extraída de (Covarrubias-Cárdenas et al., 2018; Kumar et al., 2021; Rashmi & Negi, 2020)

## Técnicas de extracción y cuantificación de compuestos fenólicos en plantas comestibles

Para el estudio de los compuestos bioactivos en plantas comestibles, tales como compuestos fenólicos, es importante conocer diferentes áreas que incluyen desde la producción de las plantas, condiciones de crecimiento, cosecha de los frutos que producen o su recolección; así como el almacenamiento o postcosecha.

Los compuestos fenólicos permanecen en las plantas, frutos o vegetales mientras los consumimos, pero para conocerlos de manera específica o identificarlos de acuerdo con sus características o funcionalidad que presentan es necesario extraerlos. Dentro de los principales métodos de extracción de compuestos fenólicos de plantas, frutos y vegetales; así como de otros compuestos bioactivos, encontramos las técnicas convencionales, las cuales se basan en la extracción de los compuestos utilizando diversos solventes que pueden ser agua, alcoholes y otros solventes orgánicos que apoyados del calor permiten extraer una gran cantidad de compuestos (Medina-Torres et al., 2017).

La técnica más utilizada es la maceración, la cual requiere de la utilización de la muestra (planta, parte de la planta) que puede ser cortada, molida o triturada y es agitada con una solución acuosa o mezcla de agua con alcohol, por lo general etanol al ser un producto que pueda utilizarse para la industria alimenticia. Otra técnica de gran importancia es la extracción por reflujo que además de estar en contacto con el solvente, es evaporado y puesto nuevamente en contacto con la muestra para favorecer la extracción. Además contamos con la extracción por Soxhlet la cual así como el reflujo también evapora el solvente para poder ser utilizado repetidas veces en la extracción de los compuestos de la muestra original, si bien estas técnicas han sido utilizadas por mucho tiempo, actualmente se sabe que para el estudio de los compuestos fenólicos estas técnicas convencionales que utilizan altas temperaturas son poco recomendadas, ya que favorecen la oxidación de los compuestos fenólicos y por consiguiente su actividad antioxidantes (Nelly Medina-Torres et al., 2017; Patrón-Vázquez et al., 2019). En la figura 3 se observan algunos de los sistemas y equipos convencionales utilizados en la extracción de compuestos fenólicos y compuestos bioactivos de plantas.

Por otro lado, existen técnicas de extracción no convencionales o conocidas como novedosas, las cuales requieren de menores cantidades de solventes, tiempos de extracción reducidos y al no utilizar calor o por periodos muy cortos de tiempo utilizar temperaturas elevadas, la oxidación de los compuestos fenólicos se reduce, permitiendo la conservación de la actividad biológica de los mismos. En este sentido dentro de las técnicas más reconocidas se encuentran la extracción Asistida por Ultrasonido (EAU) la cual se basa en el principio de la cavitación que permite la generación de burbujas en el solvente que al romperse en el interior de la matriz alimentaria donde se encuentran los compuestos fenólicos o compuestos bioactivos permite la liberación de estos (Medina-Torres et al., 2017).

Otra técnica novedosa que ha sido ampliamente estudiada en la extracción de compuestos bioactivos y fenólicos es la extracción por microondas que se basa en la utilización de equipos de microondas que al calentar el solvente desde el interior permite generar altas temperaturas en el núcleo de la matriz alimentaria hacia el exterior, favoreciendo la extracción (Amanina et al., 2021). Así mismo, existen metodologías basadas en microorganismos o partes de ellos, conocidos como técnicas biotecnológicas, las cuales producen enzimas que favorecen la extracción al romper los enlaces que se encuentran entre los compuestos bioactivos y otras macromoléculas presentes en los alimentos y así poder liberarlos. En la figura 3 se observan alguno de los sistemas y equipos novedosos utilizados en la extracción de compuestos fenólicos y compuestos bioactivos de plantas.



Figura 3. Sistemas y equipos convencionales y novedosos utilizados en la extracción de compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos.

Además de las técnicas de extracción de compuestos existen técnicas de cuantificación de compuestos bioactivos, en particular debido a la capacidad de absorber la luz a una determinada longitud de onda que poseen los compuestos fenólicos, estos son capaces de poder ser detectados por técnicas espectrofotométricas o cromatográficas mediante la utilización de detectores como el UV y el arreglo de diodos (DAD); para lo anterior se tienen estándares conocidos que absorben a longitudes de onda específicos comúnmente 350 nanómetros para los compuestos fenólicos en general y 290 nanómetros para los flavonoides en los que podemos tener lecturas más específicas y que al poder elaborar curvas patrón de los compuestos ya conocidos es factible determinar la cantidad específica de ellos si se conoce el estándar o de algún compuesto de la familia de estos si no se cuenta con el estándar específico.

La técnica espectrofotométrica es utilizada mayormente para darnos una idea del contenido total de estos compuestos presentes en una muestra, mientras que la técnica cromatográfica al realizar la separación previa de los compuestos nos permite conocer las concentraciones específicas de cada compuesto o grupo de compuestos. En la figura 4 se muestra un ejemplo de espectrofotómetros y de un cromatógrafo de líquidos utilizados generalmente en la cuantificación e identificación de compuestos bioactivos de plantas.

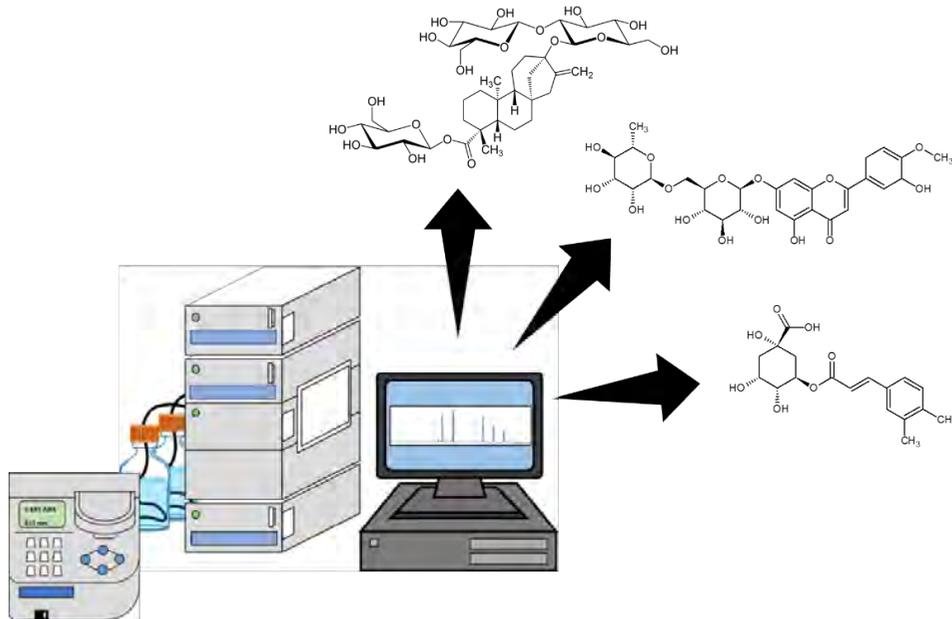


Figura 4. Espectrofotómetro y cromatógrafo de líquidos utilizados en la determinación y cuantificación de compuestos bioactivos de plantas.

### ***Tecnologías sustentables para la conservación de plantas para alimentación***

Una de las principales desventajas de la utilización de las plantas o sus partes en la alimentación o para la extracción de sus compuestos bioactivos, es lo altamente perecederos que son dichos productos una vez cosechados; por lo anterior y en la búsqueda por garantizar la disponibilidad de alimentos en cantidades suficientes, seguros y nutritivos, las tecnologías de conservación de alimentos y en particular de las plantas mediante procesos sustentables, es una de las principales demandas de la sociedad actual.

Históricamente el proceso de secado se considera uno de los primeros métodos de conservación de diversos productos agrícolas y alimentarios. La operación de secado se refiere a la eliminación de agua de un sólido y tiene como objetivo reducir el contenido de agua dentro de los alimentos para evitar las diferentes reacciones enzimáticas, transformaciones microbiológicas, biofísicas y bioquímicas que deterioran el alimento.

Comúnmente observamos que los alimentos que consumimos día a día se deterioran rápidamente, siendo la principal razón la actividad de agua. La actividad de agua es una propiedad de

equilibrio de un sistema en cualquier fase que contenga agua y se define como una relación entre la presión de vapor de ese sistema y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. Este parámetro se relaciona con la estabilidad y la calidad de un alimento en el tiempo y debe ser lo suficientemente bajo (típicamente,  $a_w < 0.6$ ) para reducir las velocidades de las reacciones indeseables

El secado al cielo abierto (Figura 5) es el método más antiguo, es económico pero depende de las buenas condiciones climatológicas y tiene desventajas inherentes a su naturaleza como prolongados tiempos de secado, contaminación por insectos, polvo, roedores, humidificación por lluvia, secado no uniforme y pérdida de propiedades organolépticas (Lopez-Vidaña et al., 2020).

Debido al calor latente de evaporación del agua y la eficiencia relativamente baja del secado, el proceso de secado requiere un suministro alto de energía (Azadbakht et al., 2017).

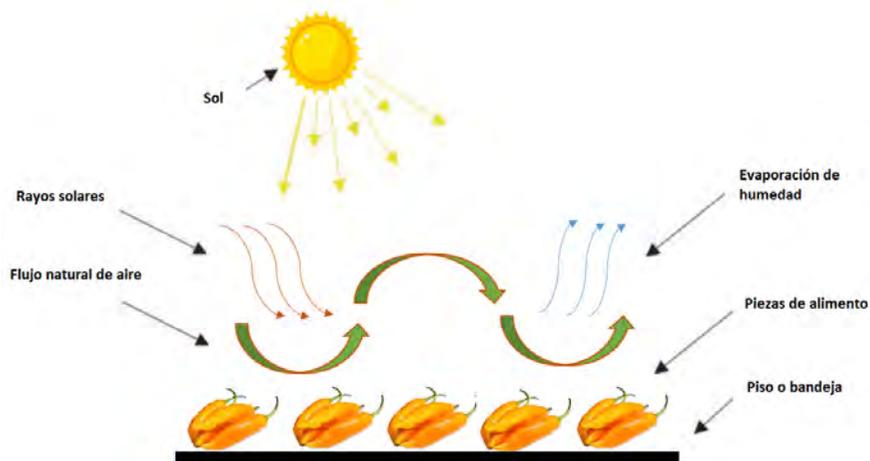


Figura 5. Esquema básico del funcionamiento del secado solar a cielo abierto

Se han desarrollado métodos de secado modernos para acortar los tiempos de secado, mejorar la calidad del producto y permitir una mejor control de procesos (Hui et al., 2003); sin embargo, suelen ser en su mayoría procesos que son intensivos en el consumo de energía derivada de combustibles fósiles haciendo los procesos costosos y generando una huella de carbono importante. Por supuesto, el método de secado se debe seleccionar dependiendo de los atributos deseados de los productos finales, suministro de energía, tipos de materias primas, costos de capital y operativos entre otras consideraciones (Hui et al., 2003). En este contexto, el secado solar de alimentos se manifiesta como una alternativa a los sistemas convencionales de procesamiento de alimentos utilizando diferentes tecnologías que aprovechan la energía solar, fuente ilimitada, abundante y limpia con una huella de carbono baja (Tagnamas et al., 2021)

Alrededor del mundo hay un enorme potencial del aprovechamiento de la energía solar en la industria del procesamiento de alimentos. La mayoría de los países cuentan con una radiación

superior a la del promedio mundial ( $3,82 \text{ kW h m}^{-2}$ ). Se prevé que las energías renovables tengan un crecimiento importante y que cada vez se integren en los procesos de transformación.

Comparado con los sistemas de secado convencional, el secado solar ofrece los siguientes méritos como (I) menores costos operativos, (II) proceso no contaminante, (III) minimiza las reacciones físicas y químicas, (IV) mejora las cualidades de los productos secos, (V) la temperatura es controlable, (VI) se puede utilizar para calentamiento directo e indirecto y (VII) la energía térmica se puede almacenar durante varias horas (Bhaskara Rao & Murugan, 2021).

Se han diseñado y construido gran variedad de secadores solares en diferentes regiones del mundo. Estos secadores solares varían en sus capacidades, rendimiento térmico, formas de captación y disposición de la energía. Generalmente, los secadores solares podrían agruparse sistemáticamente según la forma de circulación del aire hacia la cámara de secado ya sea en convección natural y forzada; según el modo de captación solar en modo directo, indirecto y mixto; y por sus fuentes de calentamiento (Prakash & Kumar, 2017)

En los sistemas de secado solar la energía solar puede utilizarse como fuente única o como fuente suplementaria de calor. De acuerdo con la figura 6, el flujo de aire es generado por convección natural o por convección forzada mediante un ventilador. El proceso de secado podría implicar el paso de aire precalentado a través del producto en cámara cerrada o por exposición directa del producto a la radiación solar o por una combinación de ambos (Ekechukwu & Norton, 1999).

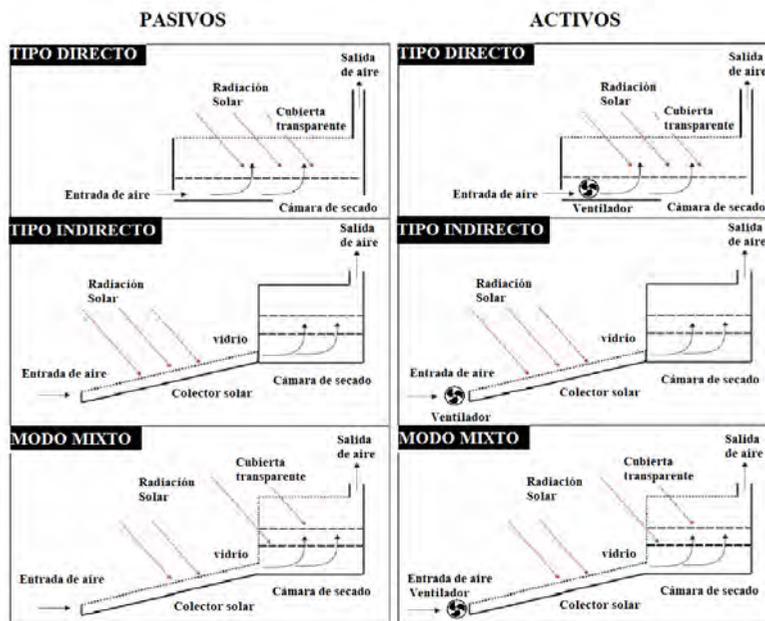


Figura 6. Clasificación general de los secadores solares. Adaptado de Ekechukwu & Norton (1999)

Los componentes principales de los secadores solares son la cámara de secado y el

colector solar. El colector tiene una placa absorbente que es de color negro, lo cual es perfecto para absorber la mayor cantidad de radiación solar. El colector solar está cubierto por vidrio, que ayuda a crear un efecto invernadero, es decir, permite que entren los rayos del sol, pero impide que este salga del colector; como resultado la temperatura del aire dentro del colector solar aumenta, el aire ambiental entra al colector y se calienta por el mecanismo de convección; a continuación el aire caliente pasa hacia a la cámara de secado donde se colocan los alimentos, en donde se lleva a cabo la transferencia de calor hacia el alimento por convección y la evaporación del agua contenida en el mismo. Posteriormente el aire se libera a la atmósfera por una chimenea como se observa en la Figura 7.

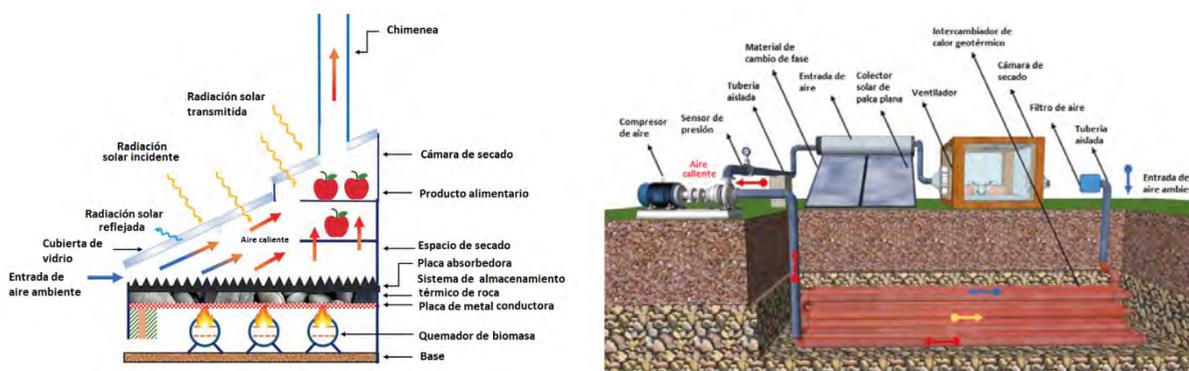


Figura 7. Izq. Secador híbrido solar-biomasa; derecha: Secador híbrido solar – geotérmico. Adaptado de Hasan Masud et al.(2020)

Existen secadores solares híbridos que utilizan diversas fuentes de calentamiento auxiliar para el secado como la biomasa, la energía geotérmica, la fotovoltaica, biogás, gas LP, etc.; estas tecnologías tienen el objetivo de minimizar las fluctuaciones de las condiciones de operación debido a la naturaleza las condiciones climatológicas como la nubosidad, radiación solar, lluvia, viento, etc.; haciendo uso de otras fuentes de energía como electricidad, gas LP, biogás, geotérmica, fotovoltaica, etc. Utilizando diversas fuentes auxiliares de energía se puede operar un sistema de secado solar de forma continua de día y parte o totalidad de la noche si se cuenta con almacenamiento térmico suficiente.

Se puede concluir que el secado a cielo abierto tiene inconvenientes en términos de calidad, capacidad, precisión y eficiencia del proceso; los sistemas de secado dependientes de combustibles fósiles son costosos y con efectos negativos al ambiente. Por lo tanto, la aplicación de la energía solar para la conservación de alimentos desempeña un papel importante para reducir las pérdidas posteriores a la cosecha, especialmente en áreas remotas donde las pérdidas de alimentos son enormes.

## **Conclusión**

El consumo de plantas comestibles representa una alternativa para contrarrestar el problema de desnutrición, en muchas ocasiones, la falta de consumo de dichas plantas es debido al desconocimiento de sus beneficios. En México, existe una gran variedad de plantas comestibles para el consumo humano, plantas cuyo cultivo no requiere de mayor inversión para las familias mexicanas. En la mayoría de los países donde la dieta diaria está dominada por alimentos a base de almidón, las verduras son una fuente más barata y disponible de proteínas, vitaminas y minerales.

Las actividades de difusión y revalorización son fundamentales para el fomento del consumo de las plantas y partes de ellas, ya que, si existe una demanda de productos, los productores continuarán sembrándolos y fomentándolos en sus campos de cultivo; en el caso contrario, estos recursos genéticos quedarán en desuso y podrían llegar a perderse.

Ante la crisis que afronta la agricultura, es necesario e importante rescatar y aprovechar alternativas de cultivos que presenten un gran potencial, por su valor nutritivo y rusticidad, facilitando la práctica de la agricultura sustentable, que permita generar ingresos adicionales a los productores que habitan en zonas con condiciones agrícolas marginales. Además, el conocimiento de cada uno de los compuestos bioactivos presentes en las plantas o partes de ellas favorece potenciar su aprovechamiento no sólo de manera fresca, sino también incentivando su utilización de manera industrial o a través de su conservación mediante la utilización de tecnologías sustentables de conservación.

Por último, es importante fortalecer la investigación para la revalorización de las plantas en la alimentación, ya que su consumo es una excelente opción, considerando las nuevas propuestas alimentarias de evitar alimentos procesados con alto contenido calórico, además de conservar la diversidad genética nativa de México.

## **Agradecimientos**

Agradecemos al Dr. Adrián Pacheco Ramírez, C.P. Estela López Jiménez por proporcionar algunas de las imágenes de tipos de plantas comestibles.

## Referencias

- Amanina, N., Aziz, A., Hasham, R., Roji, M., & Hasyimah, S. (2021). A review on extraction techniques and therapeutic value of polar bioactives from Asian medicinal herbs : Case study on *Orthosiphon aristatus* , *Eurycoma longifolia* and *Andrographis paniculata*. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 29(2), 143–165. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2020.12.016>
- Azadbakht, M., Aghili, H., Ziaratban, A., & Torshizi, M. V. (2017). Application of artificial neural network method to exergy and energy analyses of fluidized bed dryer for potato cubes. *Energy*, 120, 947–958. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.006>
- Balcázar-Quiñones, A. L., White-Olascoaga, C., Chávez-Mejía, & Zepeda-Gómez, C. (2020). *The edible tender plants: species richness and traditional knowledge in the otomi community of San Pedro Arriba, Temoaya, State of México*. 219–242. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.14>
- Basurto-Peña, F., Martinea-Alfaro, M. A., & Villalobos-Contreras, G. (1998). Los QUELITES DE LA SIERRA NOROCCIDENTAL DE PUEBLA, MÉXICO: INVENTARIO Y FORMAS DE PREPARACIÓN. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 62, 49–62. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1550>
- Bhaskara Rao, T. S. S., & Murugan, S. (2021). Solar drying of medicinal herbs: A review. *Solar Energy*, 223(October 2020), 415–436. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.065>
- Bye, R. A. (1981). QUELITES - ETHNOECOLOGY OF EDIBLE GREENS PAST , PRESENT , AND FUTURE. *Journal of Ethnobiology*, 1(May), 109–123.
- Casas, A., Viveros, J. L., Katz, E., & Caballero, J. (1987). Las plantas en la alimentación mixteca : una aproximación etnobotánica. *América Indígena*, January.
- Castro-Lara, D., Bye-Boettler, R., Basurto-Peña, F., Mera-Ovando, L. M., Rodríguez-Servín, J., Álvarez-Vega, J., Morales de León, J., & Caballero-Roque, A. (2014). Revalorización, conservación y promoción de quelites, una tarea conjunta. *Agro Productividad*.
- Chandrasekara, A., & Josheph Kumar, T. (2016). Roots and tuber crops as functional foods: A review on phytochemical constituents and their potential health benefits. *International Journal of Food Science*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3631647>
- Chauhan, Y. B., & Rathod, P. P. (2020). A comprehensive review of the solar dryer. *International Journal of Ambient Energy*, 41(3), 348–367. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1456960>
- Chen, Q., Xu, B., Huang, W., Amrouche, A. T., Maurizio, B., Simal-Gandara, J., Tundis, R., Xiao, J., Zou, L., & Lu, B. (2020). Edible flowers as functional raw materials: A review on anti-aging properties. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 30–47. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.09.023>
- Chintale Ashwini, G., Kadam Vaishali, K., Sakhare Ram, S., & Birajdar Ganesh, O. (2013). ROLE OF NUTRACEUTICALS IN VARIOUS DISEASES : A COMPREHENSIVE REVIEW. *International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry*, 3(2), 290–299.
- Copeland, L., & Hardy, K. (2018). Archaeological Starch. *Agronomy*, 1–12. <https://doi.org/10.3390/agronomy8010004>
- Covarrubias-Cárdenas, A., Martínez-Castillo, J., Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., de Albuquerque, T. M. R., Sampaio, K. B., & de Souza, E. L. (2019). Sweet potato roots: Unrevealing an old food as a source of health promoting bioactive compounds – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 277–286. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.11.006>
- Díaz-josé, J., Guevara-hernández, F., Morales-ríos, V., & López-ayala, L. (2019). Traditional Knowledge of Edible Wild Plants Used by Indigenous Communities in Zongolica , Mexico Traditional Knowledge of Edible Wild Plants Used by. *Ecology of Food and Nutrition*, 0(00), 1–16. <https://doi.org/10.1080/03670244.2019.1604340>
- Espinosa-Andrews, H., García-Cruz, N., & Pacheco, N. (2018). Antioxidant Capacity and UPLC-PDA ESI-MS Phenolic Profile of *Stevia rebaudiana* Dry Powder Extracts Obtained by Ultrasound Assisted Extraction. *Ag ronomy*, 8(9), 170. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090170>

- Ekechukwu, O. V., & Norton, B. (1999). 99/02111 Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Fuel and Energy Abstracts*, 40(3), 216. [https://doi.org/10.1016/s0140-6701\(99\)97881-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6701(99)97881-5)
- Gomez-chang, E., Uribe-estanislaio, G. V., & Romero, I. (2018). *Anti- Helicobacter pylori Potential of Three Edible Plants Known as Quelites in Mexico 1 1. 00(0)*, 1–8. <https://doi.org/10.1089/jmf.2017.0137>
- Hasan Masud, M., Karim, A., Ananno, A. A., & Ahmed, A. (2020). Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges. In *Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42476-3>
- Hui, Y. H., Chazala, S., Graham, D. M., Murrel, K. D., & Nip, W.-K. (2003). *Handbook of Vegetable Preservation and Processing* (1st ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780203912911>
- Koker, T. De, Mars, M. M., Torres, R. M., Quist, T. M., Koker, T. De, Mars, M. M., Torres, R. M., & Tanya, M. (2018). Wild greens knowledge and consumption : a qualitative exploration of human agency in the Southern Arizona food system. *Food, Culture & Society*, 8014, 1–19. <https://doi.org/10.1080/15528014.2018.1451040>
- Kriesemer, S. K., Keding, G. B., Huluka, A. T., & Dürr, J. (2021). Leafy vegetables under shade? Performance, consumer acceptance, and nutritional contribution of cowpea (*vigna unguiculata* (l.) walp.) leaves in the yayu coffee forest biosphere reserve in Southwest Ethiopia. *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su13042218>
- Kumar, M., Dahuja, A., Tiwari, S., Punia, S., Tak, Y., Panesar, P. S., Prakash, R., Pihlanto, A., Tomar, M., Sharifi-rad, J., & Kaur, C. (2021). Recent trends in extraction of plant bioactives using green technologies : A review. *Food Chemistry*, 353(October 2020), 129431. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129431>
- Kumari, P., Ujala, & Bhargava, B. (2021). Phytochemicals from edible flowers: Opening a new arena for healthy lifestyle. *Journal of Functional Foods*, 78, 104375. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2021.104375>
- Lara, D. C., Basurto-Peña, F., Mera-Ovando, L. M., & Bye-Boettler, R. A. (2011). *tradición milenaria en México* (L. Márquez.Ortiz (ed.); 1era edici). Universidad Autónoma de Chapingo.
- Lascurain, M., Avendaño, S., Aníbal, A., Mirna, D., & Covarrubias, M. (2010). *frutos silvestres comestibles en Veracruz comestibles en Veracruz* (1era Edici).
- Leidi, E. O., Altamirano, A. M., Mercado, G., Rodriguez, J. P., Ramos, A., Alandia, G., Sørensen, M., & Jacobsen, S. E. (2018). Andean roots and tubers crops as sources of functional foods. *Journal of Functional Foods*, 51, 86–93. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2018.10.007>
- López-García, G., López-Martínez, L. X., Dublán-García, O., & Baeza-Jiménez, R. (2017). EXTRACTION AND CHARACTERIZATION OF THE FATTY ACID PROFILE OF. *Revista Mexicana de Ingeniera Química*, 16(3), 835–844.
- Lopez-Vidaña, E. C., César Munguía, A. L., García Valladares, O., Pilatowsky Figueroa, I., & Brito Orosco, R. (2020). Thermal performance of a passive, mixed-type solar dryer for tomato slices (*Solanum lycopersicum*). *Renewable Energy*, 147, 845–855. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.018>
- Mateos-Maces, L., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., Aquino-Bolaños, E. N., Alba-Jiménez, J. E., & Villagómez-González, B. B. (2020). Edible Leafy Plants from Mexico as Sources of Antioxidant Compounds, and Their Nutritional, Nutraceutical and Antimicrobial Potential: A Review. *Antioxidants 2020, Vol. 9, Page 541*, 9(6), 541. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9060541>
- McClung de Tapia, E., & Martínez-Yrizar, D. (2017). The potential of paleoethnobotanical evidence for the study of Teotihuacan foodways. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9(1), 39–50. <https://doi.org/10.1007/s12520-016-0414-0>
- Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Espinosa-Andrews, H., Sánchez-Contreras, A., & Pacheco, N. (2017). Ultrasound assisted extraction for the recovery of phenolic compounds from vegetable sources. *Agronomy*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy7030047>
- Medina-Torres, Nelly, Ayora-Talavera, T., Espinosa-Andrews, H., Sánchez-Contreras, A., & Pacheco, N. (2017). Ultrasound Assisted Extraction for the Recovery of Phenolic Compounds from Vegetable

- Sources. *Agronomy*, 7(3), 47. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030047>
- Mlcek, J., & Rop, O. (2011). Fresh edible flowers of ornamental plants – A new source of nutraceutical foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 561–569. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2011.04.006>
- Mulík, S., & Ozuna, C. (2020). Mexican edible flowers: Cultural background, traditional culinary uses, and potential health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 21, 100235. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2020.100235>
- Pacifico, S., Piccolella, S., Nocera, P., Tranquillo, E., Dal Poggetto, F., & Catauro, M. (2019). New insights into phenol and polyphenol composition of Stevia rebaudiana leaves. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 163, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2018.09.046>
- Patrón-Vázquez, J., Baas-Dzul, L., Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Sánchez-Contreras, Á., García-Cruz, U., & Pacheco, N. (2019). The effect of drying temperature on the phenolic content and functional behavior of flours obtained from lemon wastes. *Agronomy*, 9(9), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090474>
- Prakash, O., & Kumar, A. (2017). Solar drying technology: concept, design, testing, modeling, economics, and environment. Springer. In *Green Energy and Technology* (Vol. 0, Issue 9789811038327). [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3833-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3833-4_9)
- Rashmi, H. B., & Negi, P. S. (2020). Phenolic acids from vegetables : A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*, 136(April), 109298. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109298>
- Rivas-García, L., Navarro-Hortal, M. D., Romero-Márquez, J. M., Forbes-Hernández, T. Y., Varela-López, A., Llopis, J., Sánchez-González, C., & Quiles, J. L. (2020). Edible flowers as a health promoter: An evidence-based review. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.12.007>
- Rojas-Garbanzo, C., Pérez, A. M., Bustos-Carmona, J., & Vaillant, F. (2011). Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. *Food Research International*, 44(7), 2377–2384. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.045>
- Román-Cortés, N. R., García-Mateos, M. del R., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, M. A. (2018). Nutritional and nutraceutical characteristics of vegetables of ancestral use in Mexico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(3), 245–253. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.245-253>
- Román-cortés, N. R., García-mateos, M. R., Castillo-gonzález, A. M., Sahagún-castellanos, J., & Adelina, M. (2018). CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE HORTALIZAS DE USO ANCESTRAL EN MÉXICO NUTRITIONAL AND NUTRACEUTICAL CHARACTERISTICS OF VEGETABLES OF ANCESTRAL USE IN MEXICO. 41(3), 245–253.
- Tagnamas, Z., Lamsyehe, H., Moussaoui, H., Bahammou, Y., Kouhila, M., Ildimam, A., & Lamharrar, A. (2021). Energy and exergy analyses of carob pulp drying system based on a solar collector. *Renewable Energy*, 163, 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.011>
- Xingú-López, A., Balbuena-Melgarejo, A., Laguna-Cerda, A., Iglesias-Andréu, L. G., Olivares-Cruz, V., & Cruz-Torres, E. (2018). Characterization of huauzontle ( *Chenopodium berlandieri* spp *nuttalliae* ) of Estado Mexico trough microsatellite markers. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, July 2019.
- Zizumbo-villarreal, D., & Flores-silva, A. (2012). The Archaic Diet in Mesoamerica : Incentive for Milpa Development and Species Domestication The Archaic Diet in Mesoamerica : Incentive for Milpa Development and Species Domestication 1. *Economic Botany*, January 2014. <https://doi.org/10.1007/s12231-012-9212-5>



## Capítulo 3

### Mujeres que han impulsado la Biotecnología Vegetal

Sosa-Medina María Trinidad<sup>1</sup>, Aguilar-Sánchez Nelly Cristina<sup>2</sup>, Cano-Sosa Julia<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México campus Conkal. Avenida Tecnológico S/N Conkal, Yucatán 97345 Conkal, Yucatán, México

<sup>2</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Tabasco. Carretera estatal libre Villahermosa-Comalcalco KM 27 S/N, Ranchería, C.P. 86205.

<sup>3</sup> Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsede Sureste, Tablaje Catastral 31264 km 5.5 Carr. Sierra Papacal-Chuburná puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, CP 97302, Mérida, Yucatán, México.

\*autor de correspondencia: jcano@ciatej.mx

**Palabras clave:** Biotecnología, plantas, contribución.

### Introducción

La biotecnología vegetal se fundamenta en la utilización de organismos vivos como las plantas para el desarrollo de diferentes bienes y servicios en beneficio de la humanidad, algunos ejemplos son el mejoramiento genético mediante la obtención de plantas resistentes a plagas y enfermedades, así como la resistencia a diferentes tipos de estrés. Se basa en la demostrada totipotencia de las células vegetales, combinado con la entrada, integración estable y expresión de transgenes en células vegetales, dando como resultado la regeneración de plantas transformadas, y la transmisión mendeliana a una progenie (Vasil, 2008).

A lo largo de la historia los registros demuestran que diversas culturas han empleado la biotecnología casi desde el año 2000 a.C. (Thieman, 2010); científicos como Francois Magendie y Jean Boussingault demostraron la importancia de las proteínas por la presencia de nitrógeno en sus estructuras, Mulder y Berzelius, acuñaron el término proteína, Pasteur y Gregorio Mendel reconocidos ampliamente por sus trabajos, son de los personajes más influyentes en la biotecnología hasta tiempos actuales, donde resaltamos el trabajo de James Watson, Francis Crick y Maurice Wilkins sobre la determinación de la estructura del ADN (Ferrer Ríos & Moreno Carranza, 2014).

En este campo son notables las aportaciones de mujeres como Jeanne Baret, Barbara McClintock, Mary Dell-Chilton, Pilar Carbonero, Cathie Martin, Suzanne Simard, Lilian Suzette Gibbs, Greta Bárbara Stevenson, Barbara Jeppe, Nuria Costa Leonardo, Segenet Kelemu, Muriel Wheldale y Rose Scott-Moncrieff; quienes han contribuido a la biotecnología vegetal y de quienes presentamos una breve reseña incluyendo sus aportaciones más sobresalientes; resaltando que ésta es sólo una breve referencia a algunas de la gran cantidad de mujeres que aportaron, aportan y aportarán conocimientos en este y otros campos de la Ciencia.

## Jeanne Baret

Jeanne Baret, es una botánica que nació en un pequeño pueblo de la Borgoña francesa el 27 de julio de 1740, donde vivió en la granja familiar hasta la muerte de su padre. Fue institutriz del hijo del viudo Dr. Philibert Commerson, quien descubrió la inteligencia de Jeanne y le dio clases de botánica. En 1764, Commerson fue nombrado botánico del rey Louis XVI y emprendió un viaje a las Tierras Australes. Jeanne para poder participar en esta aventura, se disfrazó de hombre y fue presentada como ayudante del Dr. Commerson (Sandalio, 2017).

La expedición recorrió América del Sur, Estrecho de Magallanes y las islas de Madagascar, Taití y Mauricio, donde se recolectaron cerca de 6.000 especies de plantas, insectos y otros. Con esta importante expedición fueron reconocidas más de 3.000 nuevas especies, permitiendo a Baret convertirse en una de las botánicas más importantes de sus tiempos. En años recientes, como reconocimiento a la labor de esta botánica, en 2012 el biólogo Eric Tepe y su equipo de la Universidad de Utah en Estados Unidos, asignaron nombre a una nueva especie, la *Solanum baretiae*, endémica del sur de Ecuador y el norte de Perú en honor a la botánica, haciendo un merecido reconocimiento al trabajo de Baret (Sandalio, 2017).

## Barbara McClintock

Barbara McClintock (1902-1992) nació en Hartford, Connecticut, y creció en Brooklyn, Nueva York. En 1923, obtuvo la licenciatura en Agricultura, con especialización en (1927) del Departamento de Botánica de Cornell, ocupando puestos como investigador, ayudante de cátedra e instructor de 1924 a 1931. Desde 1931 a 1936, con el apoyo del Consejo Nacional de Investigación y de las fundaciones Guggenheim y Rockefeller. Trabajó en la Universidad de Missouri (1936-1942) y luego en el Departamento de Genética de la Institución Carnegie de Washington, en Cold Spring Harbor, Nueva York, donde trabajó hasta su muerte en 1992 (Kass & Chomet, 2009).

A mediados de la década de 1940, McClintock descubrió transposición genética en el maíz. En 1967, McClintock ganó la Medalla Kimber, que se concede a distinguidos genetistas por la Academia Nacional de Ciencias cada año desde 1955 hasta 1970. Sin embargo, tuvo que esperar hasta 1983 para ganar el Premio Nobel (Comfort, 2001).

McClintock y Harriet Creighton fueron las primeras en demostrar mediante una prueba citológica la recombinación entre genes homólogos (Kass & Chomet, 2009). Otra de sus aportaciones fue el estudio de mutaciones en las plantas causadas por los rayos X, con lo que descubrió que los rasgos fenotípicos externos eran causados por trozos de cromosomas que faltaban en la célula. En 1932, relacionó este suceso con la variegación espontánea o inducida por rayos X en las plantas de maíz (Kass & Chomet, 2009). En resumen, los trabajos de McClin-

tock condujeron a la revolución de la tecnología moderna del ADN recombinante e incluso años posteriores a su muerte, continuó recibiendo premios por sus grandes aportes a la biotecnología vegetal (Tabla 1).

1993 Benjamín Franklin Medal, Carnegie Institution of Washington, Wash. DC
2004 Barbara McClintock Professorships established at Cornell University, Ithaca, NY
2005 Barbara McClintock US Postal Service American Scientists Commemorative Postage Stamp.
2007 Barbara McClintock Society [a philanthropic society], established by the Carnegie Institution of Washington, Wash, DC, 5 May 2007.

Tabla 1. Premios póstumos al trabajo de Barbara McClintock (Kass & Chomet, 2009).

### Mary Dell-Chilton

Mary Dell-Chilton nació en Indianápolis, Indiana, el 2 de febrero de 1939. Estudió Química en la Universidad de Illinois, donde se graduó en 1960, obteniendo su doctorado en 1967 (Martínez Pulido, 2018a).

A partir de los años setenta la manipulación del material genético, que hasta poco antes sólo era ciencia ficción, empezaba a vislumbrarse como una realidad al alcance de los y las investigadoras. A finales de la década de 1970, durante su cátedra en la Universidad de Washington en San Luis, la Dra. Chilton y sus colaboradores los Dres. Eugene Nester y Milt Gordon, descubrieron la capacidad de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* de transferir sus genes al genoma de las plantas que infecta (Martínez Pulido, 2018a) (GMO Answers, 2017).

Posteriormente, en 1977 la Dra. Chilton en colaboración con el Dr. Andrew Binns de la Universidad de Pensilvania produjeron la primer planta transgénica (Chilton, 2001). En 1982, demostraron la primera evidencia de que el ADN foráneo insertado en el ADN-T y transferido al ADN nuclear de la planta podía mantenerse de forma estable en el genoma de la planta y pasar intacto a la progenie (Chilton, 2001). En este sentido, el 15 de mayo de 2015, el rector Mark S. Wrighton de la Universidad de Washington en St. Louis subrayaba que el sorprendente descubrimiento de la Dra. Chilton llevó a la emergencia de un nuevo campo científico: la ingeniería genética. Fue una innovación que revolucionó la ciencia de las plantas (Martínez Pulido, 2018a).

## **Pilar Carbonero**

Nacida en Alcazarquivir (Marruecos) en 1942, estudió para Ingeniería Agrónoma por la Universidad Politécnica de Madrid desde el año 1964, y posteriormente un Doctorado en Ingeniería Agrónoma por la Universidad Politécnica de Madrid en 1968; miembro de la Real Academia de Ingeniería desde 2003, profesora “Ad Honorem” de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), tras haber completado su etapa como Profesora Emérita de esa misma universidad en 2016. Actualmente, investigador en el Centro de Biotecnología y Genómica de Plantas (CBGP; UPM-INIA) que ha obtenido la acreditación de Centro de Excelencia Severo Ochoa (Archivo Digital UPM, n.d.).

La Dra. Carbonero ha centrado su línea de investigación en las semillas de cereales, analizando distintos aspectos biológicos como la relación con microorganismos inicial hasta la biotecnología más moderna, genética, caracterización bioquímica de sus componentes, desarrollo y germinación, control de la expresión génica y transgénesis (Ponz, 2019). Particularmente, la aplicación de métodos moleculares a la obtención de resistencia de las plantas a plagas de insectos y enfermedades bacterianas y fúngicas, junto con la dilucidación de los mecanismos de regulación génica durante el desarrollo y la germinación de las semillas de cereales y especies modelo (Archivo Digital UPM, n.d.).

## **Cathie Martin**

Nacida en Gran Bretaña el 20 de abril de 1955, se graduó en botánica y fisiología vegetal, y es doctora en bioquímica por la Universidad Cambridge (Martínez Pulido, 2018b).

En 1983 se incorporó al Departamento de Genética del Instituto John Innes de Norwich trabajando en una amplia gama de proyectos en biotecnología vegetal, como los elementos transponibles en *Antirrhinum majus*, la biosíntesis del almidón en el guisante y la papa (Martin, 2018); actualmente dedica sus esfuerzos a investigar la mejora nutricional de ciertos alimentos con polifenoles (como las naranjas o los tomates púrpura con alto contenido de antocianina) para mejorar la dieta y abordar diversas enfermedades crónicas que afectan a las personas en todo el mundo (Macho Stadler, 2019).

Durante casi veinte años, Cathie Martin ha colaborado en la edición de revistas especializadas de alto impacto. Ha sido editora de *The Plant Journal* (1996-2000), co-editora de *The Plant Cell* (2000-2008) y editora jefa de *The Plant Cell* (2008-2014) (Martínez Pulido, 2018b); en esta última, la Dra. Cathie promovió el campo del metabolismo de las plantas y sus aplicaciones. Como editora jefa, también puso en marcha nuevas características en la publicación científica, incluyendo *Teaching Tools in Plant Biología Vegetal*.

Ahora es editora asociada de *Fisiología Vegetal*, miembro de la EMBO y la AAAS, y en 2014 se le concedió un MBE por sus aportes a la biotecnología vegetal (Martin, 2018).

## Suzanne Simard

Suzanne Simard, es profesora en la Universidad British Columbia (Orrego, n.d.). Estudia las redes de hongos bajo el suelo que mueven agua, carbono y nutrientes que permiten la interacción entre árboles (Macho Stadler, 2016).

A finales del siglo XX, concluyó que los árboles del bosque están conectados por una red de raíces y micorrizas, a través de la cual transfieren nutrientes desde las fuentes o emisores a los sumideros o receptores. En su experimento, marcó las hojas de abedules (*Betula papyrifera*) en Canadá, con isótopos de carbono ( $C^{13}$  y  $C^{14}$ ) y comprobó que este carbono era transferido a plántulas vecinas de abeto (*Pseudotsuga menziesii*), que crecían en la sombra. En el sentido contrario, el carbono marcado en las hojas de abeto, durante el invierno apareció en los jóvenes abedules desprovistos de hojas (Simard et al., 1997).

Entre sus reconocimientos, la Dra. Simard recibió el Premio Killam de Enseñanza 2006, además de llevar a cabo diversos proyectos con el objetivo de continuar estudiando las interacciones entre plantas y rizósfera.

## Lilian Suzette Gibbs

Nacida en Londres, Inglaterra el 10 de septiembre de 1870, fue una botánica inglesa, la primera mujer en hacer el ascenso del monte Kinabalu en 1910. Trabajó como investigadora en el British Museum. Entre 1899 y 1900 estudió en el Colegio Swanley Horticultural; en 1901 fue estudiante de botánica del profesor J.B. Farmer en el Royal College of Science, de South Kensington ahora el Colegio Imperial de Londres

En 1905 acompañó a la Asociación Británica al sur de Rodesia (hoy Zimbabue) y publicó dos artículos de esa expedición. Como estudiante, publicó sobre las estructuras desarrolladas de la semilla en las Alsinoideae (*Caryophyllaceae*) y en 1910 fue galardonada con la medalla Huxle por sus estudios en Historia natural.

Miss Gibbs tuvo una distinguida personalidad, muy cuidadosa en exigir sus derechos de género y fue de las primeras mujeres en ser elegidas miembros de la Sociedad Linneana de Londres en 1905 y de la Sociedad de Microscopistas en 1910. Identificó y nombró 145 especies.

Fallece en Santa Cruz de Tenerife, Canarias el 30 de enero de 1925, abriendo el camino a otras mujeres que al igual que ella les apasionara el estudio de la diversidad vegetal.



## Greta Bárbara Stevenson

Nació en Dunedin. Estudió en el Columba College en 1925; luego asistió a la Universidad de Otago en 1929, graduándose con una licenciatura en 1932, y luego una maestría en botánica con honores de primera clase en 1933. Su tesis abarcó el ciclo biológico de vida del parásito *Korthalsella*. Después de graduarse se mudó a Londres para asistir al Imperial Colegio de Londres en Ciencias y Tecnología, donde completó un PhD en micología y en fitopatología (Bruce et al., 1999)

Combinando su talento artístico, conocimientos científicos, su amor por las plantas y su entusiasmo por el aire libre, se convirtió en una inspiradora maestra y escribió e ilustró varios libros educativos sobre temas biológicos (Clarkson, Bruce et al., 1999).

En 1954, escribió Un libro de helechos y entre 1967-1970, “La biología de bacterias, hongos y virus”. Realizó una serie de talleres sobre los hongos más grandes, y de esto surgió su “Guía de campo para los hongos” de 1982 que satisfizo la necesidad de información popular y económica sobre hongos para Nueva Zelanda. El libro proporciona claves de géneros, concisos, descripciones con sus propias ilustraciones, y las referencias necesarias para la identificación detallada.

Greta será recordada como una de las pioneras en el estudio de los agáricos de Nueva Zelanda. Murió en Inglaterra el 18 de diciembre de 1990.



## Barbara Jeppe

Fue una ilustradora botánica, nació el 21 de mayo de 1921 en Pilgrim's Rest. Siendo muy joven, su madre la introdujo en el mundo de las flores silvestres. Veinte años después de su matrimonio, ilustró su primer libro, *Trees and Shrubs of the Witwatersrand* con el que dejó su huella en el campo del arte botánico. (Bothalia 30 (1) (2000) 119-122 Barbara Jeppe)

Durante un período de tres años estuvo en el Cabo, ilustrando y escribiendo el texto de su libro sobre los bulbos del Cabo. Esta pasión por los bulbos resultó en la publicación de *Bulbos de flores de primavera e invierno del Cabo Occidental* (Oxford University Press, 1989). Su trabajo definitivo sobre *Amaryllidaceae* fue publicado en 2017 por Kew Publishing con ilustraciones adicionales de su hija, Leigh Voigt, y texto de Graham Duncan. Recibió dos medallas de oro en 1990, una de la Sociedad Botánica de Sudáfrica, la medalla Cythna Letty Gold por sus contribuciones a las ilustraciones botánicas en Sudáfrica y otra de la Asociación Sudafricana de Viveristas. La Transvaal Horticultural Society le otorgó una medalla de plata en 1991. Barbara Jeppe, murió a la edad de 78 años en Johannesburgo.



## Nuria Costa Leonardo

Nació con el espíritu de la década de 1960. Cuando tenía 13 años, ayudó en la editorial de su padre. Aprendió a trabajar duro, a valorar su independencia y a ser firme en sus juicios. Se fue a la montaña a la edad de 19 años y vivió en comunidades rurales mexicanas durante los siguientes 20 años. Mantuvo estrecho contacto con las mujeres del campo. Permaneció nueve años en la selva de Oaxaca, México. Allí experimentó la represión militar y fundó una escuela de estudios superiores, una combinación de trabajo, solidaridad y convicción hacia las comunidades indígenas.

Permaneció nueve años más en el norte del país, en Durango. Desde hace más de 30 años trabaja para lograr justicia en las zonas rurales. Hoy vive en la Ciudad de México, viajando continuamente por todo el país, realizando talleres y teniendo encuentros con mujeres de la Red Nacional de Mujeres Rurales. Desarrolló la propuesta de un banco social, con y para mujeres.



## Segenet Kelemu

Nació en Etiopía, en una pequeña aldea donde las mujeres deben ocuparse de las labores agrícolas. A los 15 años, tras presenciar la devastación causada por una plaga de langostas, decidió dedicarse a estudiar la problemática y al poco tiempo se convirtió en la primera mujer de la región en ser admitida a la Universidad de Adís Abeba, en ese entonces la única institución de educación superior en el país y de la cual egresó en 1979 con una licenciatura en botánica. Tras concluir sus estudios de grado, recibió una beca para especializarse en los Estados Unidos y ahí concluyó una maestría en patología y genética en la Universidad Estatal de Montana (1985), un doctorado en biología molecular y fitopatología en la Universidad Estatal de Kansas (1989) y desarrolló una investigación postdoctoral en la Universidad de Cornell (1989-1992) acerca de algunos determinantes moleculares que intervienen en la patogénesis.

Tras 25 años de ausencia, decidió regresar al continente africano para incorporarse al Instituto Internacional de Investigaciones Pecuarias (International Livestock Research Institute, ILRI) y ocupó la vicepresidencia de la Alianza para una Revolución Verde en África (Alliance for a Green Revolution in Africa, AGRA), una organización no gubernamental financiada por la Fundación Bill y Melinda Gates y la Fundación Rockefeller.

En 2011 compartió con Zeyaur Khan el premio de la Academia Mundial de Ciencias en el rubro de Ciencias Agrícolas por descubrir bacterias y hongos endófitos benéficos en pastos del género *Brachiaria*.



## Muriel Wheldale

Nace en Birmingham, Inglaterra el 31 de marzo de 1880. Fue una bioquímica británica. Estudió la herencia del color de la flor *Antirrhinum* común y contribuyó en el estudio de las moléculas de pigmento bioquímico en plantas como las antocianinas. Se matriculó en Newnham College, Cambridge, en 1900.

En Cambridge se especializó en botánica. No recibió un título de Cambridge a pesar de haber obtenido el honoris causa en ambas partes de las Natural Science Tripos, porque Cambridge no otorgaba títulos a mujeres hasta 1948.

En 1903, se unió al grupo de genética de William Bateson en Cambridge, donde comenzó su estudio centrándose en la interacción de factores y de la herencia del color del pétalo en *Antirrhinum* (snapdragons) (Angove, R. 2007). En 1926 fue una de las primeras mujeres nombradas como profesora en Cambridge, en el departamento de bioquímica. Muriel Onslow murió el 19 de mayo de 1932. En 2010, la Royal Institution of Great Britain organizó una obra, titulada *Blooming Snapdragons*, sobre cuatro bioquímicas de principios del siglo XX, una de las cuales fue Muriel Onslow.



## Rose Scott-Moncrieff

Nació en 1903. Estudió una licenciatura en el Colegio Imperial de Londres y recibió un doctorado de Cambridge en 1930; sin embargo, debido a que era mujer sólo recibió un certificado y no se le permitió ingresar a la universidad. Trabajó en John Innes Horticultural Institution. Rose Scott-Moncrieff se unió al departamento de Bioquímica de la Universidad de Cambridge en 1925 y estudió con Muriel Onslow.

En la década de 1930, Rose Scott-Moncrieff y sus colegas publicaron una serie de artículos fundamentales en el *Biochemical Journal* que determinaban la secuencia metabólica y la base genética de la biosíntesis de pigmentos en las flores. Su investigación sentó las bases para el campo de la genética bioquímica, la biología molecular. Contribuyó a las investigaciones de camuflaje durante la guerra y fue Comisionada Divisional de Guías de Cawnpore, India y adquirió una visión especial de la educación india, convirtiéndose en Presidenta de la Sección de Mujeres de la Conferencia de Educación Básica de toda la India en enero de 1945.



## Conclusión

En la historia sobre ciencia y el desarrollo de la misma en diferentes áreas, generalmente encontramos asociados nombres de afamados médicos, físicos, psicólogos, matemáticos o biólogos que han contribuido al avance de la ciencia; pero es momento de también hacer más visibles las notables aportaciones de mujeres como Jeanne Baret, Barbara McClintock, Mary Dell-Chilton, Pilar Carbonero, Cathie Martin, Suzanne Simard, Lilian Suzette Gibbs, Greta Bárbara Stevenson, Barbara Jeppe, Nuria Costa Leonardo, Segenet Kelemu, Muriel Wheldale y Rose Scott-Moncrieff de quienes se habló en este capítulo y quienes de manera directa o indirecta han contribuido al avance de la biotecnología vegetal.

Así como ellas, existen aún más mujeres que han aportado a este campo y que por espacio no incluimos, pero esperamos este capítulo motive la búsqueda de más información sobre mujeres en la ciencia y que más mujeres nos sumemos y dejemos huella en esta y otras áreas fundamentales para generación y desarrollo de conocimiento. Que se motive la incursión en la ciencia de más niñas y mujeres.

## Referencias

- Angove, R. (2007). Past times. *Economist*, 385(8553), 49–51.
- Archivo Digital UPM. (n.d.). Biografía de Pilar Carbonero Zalduegui. Biblioteca Universitaria Politécnica. Bothalia 30 (1) (2000) 119-122 Barbara Jeppe (29/07/2021)
- Chilton, M.-D. (2001). Agrobacterium. A Memoir. *Plant Physiology*, 125(1), 9–14. <https://doi.org/10.1104/pp.125.1.9>
- Clarkson, B., Webb, C., & West, C. (1999). *New Zealand Botanical Society Newsletter*. Society, 57.
- COMFORT, N. (2001). From controlling elements to transposons: Barbara McClintock and the Nobel Prize<sup>1</sup>. *Trends in Genetics*, 17(8), 475–478. [https://doi.org/10.1016/S0168-9525\(01\)02383-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9525(01)02383-6)
- Ferrer Ríos, M. Gabriela., & Moreno Carranza, Bibiana. (2014). Los grandes apellidos de la biotecnología. *Encuentros Multidisciplinarios*, 47, 10.
- GMO Answers. (2017). Meet The Woman Behind The Groundbreaking Discovery Of GMOs.
- Kass, L. B., & Chomet, P. (2009). Barbara McClintock. In J. L. Bennetzen & S. Hake (Eds.), *Handbook of Maize: Vol. II* (pp. 17–52). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-77863-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-0-387-77863-1_2)
- Linn, J. (n.d.). *The Journal of the Linnean Society*. Botany.
- Macho Stadler, Marta. (2016, July 31). Cómo los árboles se comunican entre sí. *Mujeres Con Ciencia*.
- Martin, C. (2018, February 5). Cathie Martin. *Current Biology* 28, R95–R97.
- Martínez Pulido, Carolina. (2018a, August 28). Mary Dell-Chilton, científica que abrió el camino a la ingeniería genética vegetal. *Mujeres Con Ciencia*.
- Martínez Pulido, Carolina. (2018b, September 11). Cathie Martin, en la vanguardia de la biotecnología vegetal. *Mujeres Con Ciencia*.
- Orrego, Gabriel. (n.d.). Suzanne Simard: los árboles se comunican entre ellos. *Ecosistemas, Conservación y Biodiversidad*.
- Ponz, F. (2019). Retratos de Mujeres en Bioquímica: Especial Congreso FEBS 69 - Pilar Carbonero. [https://doi.org/10.18567/sebbmdiv\\_RMB.2019.06.5](https://doi.org/10.18567/sebbmdiv_RMB.2019.06.5)
- Sandalio, L. M. (2017). La mujer en la historia de la Biología Vegetal. *Boletín de La SEFV*, 64, 17–18.
- Simard, S. W., Perry, D. A., Jones, M. D., Myrold, D. D., Durall, D. M., & Monilak, R. (1997). Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *NATURE*, 388, 579–582.
- Thieman, W. J., P. M. A. (2010). INTRODUCCIÓN A LA BIOTECNOLOGÍA (Miguel. Martín-Romo & Esther. Martín, Eds.; Segunda edición). PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Vasil, I. K. (2008). A short history of plant biotechnology. *Phytochemistry Reviews*, 7(3), 387–394. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9075-z>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Greta\\_Stevenson](https://es.wikipedia.org/wiki/Greta_Stevenson) (23/07/2021)
- <https://mujeresconciencia.com/2014/09/10/lilian-suzette-gibbs-botanica/> (17/07/2021)
- <https://mujeresconciencia.com/2017/05/21/barbara-jeppe-ilustradora-botanica/>(03/08/2021)
- <https://mujeresconciencia.com/2018/07/17/muriel-wheldale-cientifica-decisiva-en-el-encuentro-en-la-genetica-y-la-bioquimica/> (07/08/2021)
- <https://plants.jstor.org/stable/10.5555/al.ap.person.bm000002937> (17/07/2021)
- [https://wikipeacewomen.org/wpworg/en/?page\\_id=1908](https://wikipeacewomen.org/wpworg/en/?page_id=1908). (03/08/2021)
- [https://wikitoshare.com/es/Rose\\_Scott-Moncrieff](https://wikitoshare.com/es/Rose_Scott-Moncrieff) (07/08/2021)
- <https://www.domusvi.es/blog/residencia-ferrol/no-more-matildas-segenet-kelemu/> (03/08/2021)
- <http://www.heroinas.net/2020/07/greta-barbara-stevenson.html> (25/07/2021)
- <https://www.jstor.org/stable/4118823?seq=> (23/07/2021)

## Capítulo 4

### Plantas ornamentales de interior y exterior, más que decoración

Ramos-Díaz Ana<sup>1\*</sup>, Poblano Cantón Fernando<sup>2</sup>, Poblano Gutierrez Alonso<sup>2</sup>, Ku Gonzalez Angela F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Subsede Sureste. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná puerto. Parque Científico Tecnológico de Yucatán. CP 97302 Mérida, Yucatán, México

<sup>2</sup>Flores Finas De Teya S.P.R. De R.L. Carretera Km 11.2 Carretera Mérida Puerto Juárez Hacienda Teya Kanasín S/n (97370) Kanasín, Pueblo Kanasín, Yucatán

<sup>3</sup>Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 N. 130 x 32 y 34, Chuburna de Hidalgo; C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México.

\*autor de correspondencia: aramos@ciatej.mx

**Palabras clave:** Plantas de interior, calidad aire interior, salud mental, contaminación del aire

### Introducción

El rápido crecimiento dentro y fuera de la periferia de las ciudades, el aumento del número de edificios comunitarios; así como la disminución de los metros cuadrados de terreno por casa habitación, reduce los espacios verdes particulares y aumenta el hacinamiento de las áreas verdes comunitarias.

En el último año debido a la pandemia de COVID-19, ha aumentado el tiempo en ambientes interiores y se ha priorizado el home Office y las clases en línea, aumentando el tiempo de permanencia en el interior. El confinamiento tiene efectos negativos en la salud dado que la contaminación del aire en lugares cerrados provoca enfermedades cardiovasculares como resultado a la exposición por largos periodos de tiempo a compuestos orgánicos volátiles (COV), materia particulada (MP) y al estrés provocado por el mismo confinamiento. En el presente capítulo se profundiza el uso de plantas para purificar el aire y promover la salud reducción del estrés y su aporte en el bienestar mental y físico.

En los últimos años la densidad de población ha aumentado en las ciudades, con un gran número de desarrollos habitacionales con casas de menor número de m<sup>2</sup> y la construcción de condominios y unidades departamentales, disminuye el esparcimiento en ambientes al aire libre al reducir los espacios verdes. Desde hace más de 20 años, se considera que las personas permanecen el 80% o más de su tiempo en ambientes interiores, como parte de una vida urbanizada (Fjeld et al., 1998). Se ha reportado por diferentes autores la relación entre el bienestar físico y emocional con el acceso a áreas verdes (Cicea and Pîrlogea, 2011; Lee and Maheswaran, 2010; Tzoulas et al., 2007), ya que éstas funcionan como una fuente de relajación y estimulación a realizar actividades físicas.

En la década de los 80's se propuso el término "Sick Building Syndrome" con síntomas físicos y mentales asociados con la permanencia en el interior de edificios, tanto en oficinas como viviendas, donde las causas están relacionadas con el ambiente, falta de luz natural, temperatura, mobiliario, polvo, contaminación ambiental y necesidad de privacidad, entre otros (Tonello and Kirschbaum, 2010). Algunos síntomas reportados son ojos irritados, vista cansada, dolor de cuello, muscular, estomacal y de cabeza, sensibilidad a la luz y al sonido, visión borrosa, migraña, ansiedad, rinitis, eczema, sabor metálico, disnea, alergia, sequedad bucal, estrés fisiológico, letargo y cansancio (Jaakkola, 1997; Tonello and Kirschbaum, 2010).

Se ha demostrado que las plantas tienen un valor más allá de la estética en ambientes interiores (Dravigne et al., 2008; Lohr y Pearson-Mims, 2000), este impacto positivo se ha demostrado en la eficiencia en el trabajo, por ejemplo: el tiempo de reacción en la computadora mejoró en un 12% aumentando la capacidad de concentración (Lohr et al., 1996; Taylor et al., 2001), dado que la presencia de las plantas tiene efectos psicológicos positivos aumenta el sentimiento de bienestar (Ulrich et al., 1991). Un estudio mostró que los empleados en oficinas con plantas calificaron su satisfacción laboral más positivamente en comparación con los empleados en oficinas sin plantas presentes (Dravigne et al., 2008). Además de la aportación de las plantas de interior al bienestar psicológico, también se ha probado la capacidad de algunas plantas para filtrar el aire de compuestos orgánicos volátiles (COV), materia particulada (MP) ambiental (Claudio, 2011), lo cual tiene efectos positivos en la salud.

## **Purificación del aire de interior**

Los ambientes interiores representan una mezcla de contaminantes exteriores, que pueden ingresar por infiltraciones, vías naturales y mecánicas de sistemas de ventilación, y por contaminantes de interiores, que se originan dentro del edificio, por actividad de los ocupantes o por el desprendimiento de COV del mobiliario. Los contaminantes predominantes se clasifican en MP, COV, gases, biológicos.

Los MP provienen principalmente por combustión (la quema de combustibles, carbón, madera, cigarrillos y velas) y actividades de construcción (partículas de polvo). Los COV que son liberados de sistemas de refrigeración y calefacción, dispositivos de humidificación, equipos electrónicos, productos para la limpieza del hogar, mascotas, microorganismos, químicos de pinturas, resistol, solventes, etc. Los gases contaminantes incluyen al monóxido de carbono, al ozono y radón. Por último, la contaminación biológica comprende hongos, bacterias, esporas y algunos tipos de polen.

## COVs tipos principales

Los COV son emitidos de materiales como tapetes, tapices, sillas de oficinas, equipo electrónico, maderas presadas, pinturas, barnices, telas de prensado permanente, espuma de aislamiento, algunos son gases liberados como los halogenuros retardantes de flama (HRF), los cuales se han utilizado para para cumplir las normas de inflamabilidad en muebles del hogar y automóviles para retardar la ignición, entre otras fuentes (Kozicki et al., 2018; WHO, 2010; Wolkoff et al., 2006). Los principales COVs encontrados en ambientes de interior son el benceno, bióxido de carbono, formaldehido, naftaleno, dióxido de hidrogeno, hidrocarburos cíclicos aromáticos (PAHs) (Claudio, 2011; WHO, 2010; Yu and Crump, 1998) i.e. benzene, carbon monoxide, formaldehyde, naphthalene, nitrogen dioxide, polycyclic aromatic hydrocarbons (especially benzo[a]pyrene).

## MP tipos principales

Entre los principales peligros de los MP en el aire, está que son inhaladas y transportan halogenuros retardantes de flamas, las MP son atrapadas en el revestimiento mucoso del tracto respiratorio, entonces son expulsadas y tragadas; cuando son tragadas, los HRF pueden ser liberados. En un estudio se encontró que el más del 92% de las MP contenían HRF como éteres de difenilo polibromados (Penta-BDE: BDE-47, -85, -100, -99 y -153)), 2,3,4,5-tetrabromobenzoato de 2-etilhexilo (TBB o EH-TBB); bis (2-etilhexil) 3,4,5,6-tetrabromoftalato (TBPH o BEH-TEBP) y FR organofosforados clorados de producción prolongada (CIOPFR): tris (2-cloroetil) fosfato (TCEP), tris (1-cloro -2-propil) fosfato (TCPP o TCIPP) y tris (1,3-dicloro-2-propil) fosfato (La Guardia et al., 2017).

## Efecto de los contaminantes en la salud humana

La contaminación del aire de interior puede provocar morbilidad y mortalidad cardiovascular, infarto de miocárdico, accidente cerebrovascular, arritmia y exacerbación de la insuficiencia cardíaca con la misma o mayor intensidad que la contaminación del aire exterior; dado que los seres humanos pasan aproximadamente el 90% de su tiempo del día en ambientes interiores, donde los contaminantes se acumulan a través de los años y conllevan a la exposición por periodos largos de tiempo, amén de la variedad de estos (Chuang et al., 2017; Klepeis et al., 2001; Polidori et al., 2007; Wolkoff et al., 2006) Entre otros efectos tóxicos específicos al tipo de contaminante.

- 1.- Formaldehido, este compuesto puede causar desde irritación en los ojos y cáncer de nasofaringe dependiendo de la concentración y el tiempo e exposición (Cincinelli and Martellini, 2017; Claudio, 2011; Dela Cruz et al., 2014; WHO, 2010)

- 2.- El benceno puede provocar discrasias sanguíneas y se considera un cancerígeno genotóxico (Dela Cruz et al., 2014; WHO, 2010)
- 3.- El CO<sub>2</sub> provoca enfermedades cardiovasculares (Dela Cruz et al., 2014)
- 4.- Naftaleno puede causar lesiones en el trato respiratorio incluyendo tumores; anemia hemolítica (Dela Cruz et al., 2014)
- 5.- El dióxido de nitrógeno Los asmáticos exhiben pequeñas disminuciones de la función pulmonar, el aumento de este gas por arriba del 28 µg/m<sup>3</sup> se asoció con un 20% más de riesgo de enfermedades de las vías respiratorias en niños (Jaakkola, 1997; WHO, 2010)
- 6.- Hidrocarburos aromáticos policíclicos, algunos de estos compuestos se consideran cancerígenos, ya que tienen efectos en el metabolismo por medio de cambios en la expresión genética.
- 7.- Radón: Es clasificado por la “Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer” como cancerígeno humano (grupo I), como riesgo de cáncer de pulmón por exposiciones prolongadas. Aumentando la probabilidad en personas fumadoras o quienes habitan con fumadoras (WHO, 2010)

## Uso de las plantas para purificar el aire

Para contrarrestar la contaminación del aire se han propuesto sistemas mecánicos de filtración; sin embargo estos son costosos, requieren instalación tecnificada, mantenimiento y causan gastos de energía eléctrica; por otra parte, ningún sistema de filtración de aire puede reducir los niveles de todos los contaminantes del mismo en ambientes interiores (Chuang et al., 2017). Por tanto, se ha propuesto el uso de plantas ornamentales de interior por su capacidad de reducir la contaminación del aire, dado que la reducción de los niveles de COV por las plantas en interiores ya ha sido probada (Dela Cruz et al., 2014) y representan una posible solución ecológica para mejorar la calidad del aire y que contribuye a mejorar la salud humana.

Se ha demostrado que las plantas de interior eliminaron la contaminación del aire por partículas y los COV, incluidos formaldehído, benceno, tolueno, etc. (Chen et al., 2020; Dela Cruz et al., 2014; Wang et al., 2014). En un estudio en departamentos de personas en promedio de 63 años, sin plantas de interior tenían niveles relativamente más altos de PM (~ 50%) y de COV (~ 50%) en comparación con aquellas cuyos departamentos tenían plantas de interior (Chen et al., 2020). En otro estudio se comprobó su capacidad de remoción de CO<sub>2</sub> y su capacidad de absorción varía dependiendo de la intensidad de la luz, la especie de la planta, el riego y la concentración del contaminante (Gubb et al., 2018).

La capacidad de reducción de contaminantes por las plantas se conoce como fitorremediación, la cual se realiza principalmente a través de los siguientes mecanismos: (I) fitodegradación, (II) fitovolatilización, (III) rizofiltración (IV) fitoextracción y (V) fitoestabilización; éstas comprenden la acumulación interna, la transformación a compuestos menos tóxicos y la quelación.

## Las plantas de interior y salud

La calidad del aire en el interior y la promoción de la salud humana es un tema importante en el campo medioambiental y salud ocupacional. El vínculo entre la contaminación del aire y enfermedades cardiovasculares adversas se ha demostrado en anteriores estudios en todo el mundo durante décadas (Brook et al., 2010; Chuang et al., 2017).

En un estudio se demostró el impacto benéfico en la salud y la calidad de vida en personas de edad avanzada, residentes de una casa de retiro de bajos ingresos; cuando estos residentes realizaban actividades básicas de horticultura que incluían el cuidado de plantas de interior (Collins and O'Callaghan, 2008). En otros estudio se demostró que las plantas tiene un efecto positivo sobre los dolores de cabeza y la fatiga en ambientes de interior pues reduce la presión arterial (Chen et al., 2020; Fjeld et al., 1998; Lohr et al., 1996; Ulrich et al., 1991). Estos beneficios re relacionan con la suma de la actividad de filtración de las plantas del aire, la reducción de la contaminación y la sensación de bienestar que provocan.

Recientemente se ha propuesto el uso de plantas de interior para reducir la probabilidad de contagios por SARS-CoV-2 en ambientes cerrados por medio de la reducción de virus activos a través del aumento en la humedad de los ambientes; esta propuesta se deriva de las investigaciones realizadas con el virus de la influenza e investigaciones realizadas en la viabilidad del virus en ambientes húmedos y cálidos (El-Tanbouly et al., 2021; Wang et al., 2021)

## Especies vegetales de interior más utilizadas

### **Buganvilia**

(*Bougainvillea glabra* Choisy)



**Palma bambo**  
(*Chamaedorea seifrizii* Burret)



**Palma Renda verde, Palma roja;  
palma pintalabios**  
(*Cyrtostachys renda* Blume)



**Dracaena**  
(*Dracaena acaulis* Baker)



**Dracaena fragrans (L.) Ker Gawl.**



***Dracaena marginata* hort.**



***Dracaena reflexa* Lam.**



**Areca palm**  
(*Dypsis lutescens* (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.)  
(Claudio, 2011)



**Teléfono**  
(*Epipremnum aureum* (Linden & André) G.S.Bunting)



**Rubber plant**

(*Ficus elastica* Roxb. ex Hornem.)



**Ficus**

(*Ficus maclellandii* King)



**Laurel de Indias, árbol yucateco**

(*Ficus microcarpa* L.f.)



**Oreja de elefante**

(*Alocasia odora*)



**Boston fern**

(*Nephrolepis exaltata* (L.) Schott)



**Dwarf date palm**

(*Phoenix roebelenii* O'Brien)



**Helecho cuerno de alce**

(*Platycerium bifurcatum* (Cav.) C. Chr.)



**Lady palm**

(*Rhapis excelsa* (Thunb.) Henry)



**Helecho leather leaf**

(*Rumohra adiantiformis* (G. Forst.) Ching)



**Lengua de suegra**

(*Sansevieria trifasciata* Prain)



**Cuna de moises, Peace lily**

(*Spathiphyllum wallisii*)



Los nombres científicos fueron verificados en WFO (2021): World Flora Online. Versión: 2021/agosto. Publicado en internet; <http://www.worldfloraonline.org>. Acceso en: 13/08/2021.

**Conclusión**

Las plantas ornamentales han cobrado interés más allá de su uso para decorar y versatilizar espacios, ya que científicamente se ha demostrado en muchas especies ornamentales su potencial como plantas medicinales, alimenticias o purificadoras de aire, como se menciona en este capítulo. Es por ello que en los próximos años seguramente veremos una mayor diversificación de los usos de plantas que ahora sólo consideramos ornamentales, como es el caso de la inclusión en la dieta de flores que antes comúnmente no se consumían pero que brindan sabor, color, metabolitos bioactivos y aroma a nuevos y vistosos platillos alrededor del mundo.

## Referencias

- Brook, R.D., Rajagopalan, S., Pope, C.A., Brook, J.R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M.A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S.C., Whitset, L., Kaufman, J.D., 2010. Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease. *Circulation* 121, 2331–2378. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbee1>
- Chen, R.-Y., Ho, K.-F., Hong, G.-B., Chuang, K.-J., 2020. Houseplant, indoor air pollution, and cardiovascular effects among elderly subjects in Taipei, Taiwan. *Science of The Total Environment* 705, 135770. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135770>
- Chuang, H.-C., Ho, K.-F., Lin, L.-Y., Chang, T.-Y., Hong, G.-B., Ma, C.-M., Liu, I.-J., Chuang, K.-J., 2017. Long-term indoor air conditioner filtration and cardiovascular health: A randomized crossover intervention study. *Environment International* 106, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.06.008>
- Cicea, C., Pîrlogea, C., 2011. Green spaces and public health in urban areas. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management* 6, 83–92.
- Cincinelli, A., Martellini, T., 2017. Indoor Air Quality and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14, 1286. <https://doi.org/10.3390/ijerph14111286>
- Claudio, L., 2011. Planting Healthier Indoor Air. *Environmental Health Perspectives* 119, 426–427. <https://doi.org/10.1289/ehp.119-a426>
- Collins, C.C., O’Callaghan, A.M., 2008. The impact of horticultural responsibility on health indicators and quality of life in assisted living. *HortTechnology* 18, 611–618.
- Dela Cruz, M., Christensen, J.H., Thomsen, J.D., Müller, R., 2014. Can ornamental potted plants remove volatile organic compounds from indoor air? — a review. *Environmental Science and Pollution Research* 21, 13909–13928. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3240-x>
- Dravigne, A., Waliczek, T.M., Lineberger, R.D., Zajicek, J.M., 2008. The Effect of Live Plants and Window Views of Green Spaces on Employee Perceptions of Job Satisfaction. *HortScience* 43, 183–187. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.1.183>
- El-Tanbouly, R., Hassan, Z., El-Messeiry, S., 2021. The Role of Indoor Plants in air Purification and Human Health in the Context of COVID-19 Pandemic: A Proposal for a Novel Line of Inquiry. *Frontiers in Molecular Biosciences* 8. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2021.709395>
- Fjeld, T., Veiersted, B., Sandvik, L., Riise, G., Levy, F., 1998. The Effect of Indoor Foliage Plants on Health and Discomfort Symptoms among Office Workers. *Indoor and Built Environment* 7, 204–209. <https://doi.org/10.1177/1420326X9800700404>
- García, C.R., Celene, Y., Manrique, E., 2016. Oleadas de calor y el efecto de la vegetación en Yucatán. *Desde el Herbario CICY* 8, 97–101.
- Gubb, C., Blanusa, T., Griffiths, A., Pfrang, C., 2018. Can houseplants improve indoor air quality by removing CO2 and increasing relative humidity? *Air Quality, Atmosphere & Health* 11, 1191–1201. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0618-9>
- Jaakkola, J.J., 1997. Report and presentations of a joint symposium on the indoor environment & respiratory illness, including allergy. World Health Organization, Geneva PP - Geneva.
- Klepeis, N.E., Nelson, W.C., Ott, W.R., Robinson, J.P., Tsang, A.M., Switzer, P., Behar, J. V, Hern, S.C., Engelmann, W.H., 2001. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 11, 231–252. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>

- Kozicki, M., Piasecki, M., Goljan, A., Deptuła, H., Niesłochowski, A., 2018. Emission of Volatile Organic Compounds (VOCs) from Dispersion and Cementitious Waterproofing Products. *Sustainability* 10, 2178. <https://doi.org/10.3390/su10072178>
- La Guardia, M., Schreder, E., Uding, N., Hale, R., 2017. Human Indoor Exposure to Airborne Halogenated Flame Retardants: Influence of Airborne Particle Size. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14, 507. <https://doi.org/10.3390/ijerph14050507>
- Lee, A.C.K., Maheswaran, R., 2010. The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. *Journal of Public Health* 33, 212–222. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdq068>
- Lohr, V.I., Pearson-Mims, C.H., 2000. Physical Discomfort May Be Reduced in the Presence of Interior Plants. *HortTechnology* 10, 53–58. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.10.1.53>
- Lohr, V.I., Pearson-Mims, C.H., Goodwin, G.K., 1996. Interior Plants May Improve Worker Productivity and Reduce Stress in a Windowless Environment. *Journal of Environmental Horticulture* 14, 97–100. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-14.2.97>
- Polidori, A., Arhami, M., Sioutas, C., Delfino, R.J., Allen, R., 2007. Indoor/Outdoor Relationships, Trends, and Carbonaceous Content of Fine Particulate Matter in Retirement Homes of the Los Angeles Basin. *Journal of the Air & Waste Management Association* 57, 366–379. <https://doi.org/10.1080/10473289.2007.10465339>
- Taylor, A.F., Kuo, F.E., Sullivan, W.C., 2001. Coping with add. *Environment and Behavior* 33, 54–77. <https://doi.org/10.1177/00139160121972864>
- Tonello, G., Kirschbaum, C., 2010. Lighting in Sick Building Syndrome: Urban and rural environments. *Psychecology* 1, 383–392. <https://doi.org/10.1174/217119710792774843>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., James, P., 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning* 81, 167–178. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2007.02.001>
- Ulrich, R.S., Simons, R.F., Losito, B.D., Fiorito, E., Miles, M.A., Zelson, M., 1991. Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology* 11, 201–230. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80184-7](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80184-7)
- Wang, J., Tang, K., Feng, K., Lin, X., Lv, W., Chen, K., Wang, F., 2021. Impact of temperature and relative humidity on the transmission of COVID-19: a modelling study in China and the United States. *BMJ Open* 11, e043863. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-043863>
- Wang, Z., Pei, J., Zhang, J.S., 2014. Experimental investigation of the formaldehyde removal mechanisms in a dynamic botanical filtration system for indoor air purification. *Journal of Hazardous Materials* 280, 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.059>
- WHO, 2010. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, World Heal. ed. World Health Organization, Copenhagen, Denmark.
- Wolkoff, P., Wilkins, C.K., Clausen, P.A., Nielsen, G.D., 2006. Organic compounds in office environments - sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air* 16, 7–19. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00393.x>
- Yu, C., Crump, D., 1998. A review of the emission of VOCs from polymeric materials used in buildings. *Building and Environment* 33, 357–374. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(97\)00055-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(97)00055-3)

## Capítulo 5

### Los microorganismos fitopatógenos ¿son aliados o enemigos?

Uc-Vázquez Alberto<sup>1\*</sup> y Evangelista-Martinez Zahaed<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Centro de Investigación y asistencia en Tecnología y diseño del estado de Jalisco, Subsede Sureste. Tablaje catastral 31264 km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto. Parque científico y tecnológico de Yucatán. Cp. 97302 Merida, Yucatán, México.

\*Autor de correspondencia: auc@ciatej.mx

**Palabras clave:** Bacterias, hongos, virus y nematodos

### Introducción

Los microorganismos que se encuentran en la naturaleza son diversos, siendo los hongos, nematodos, bacterias y virus los principales grupos. Cada uno de los grupos de microorganismos posee especies fitopatógenas localizadas en los campos agrícolas principalmente. Estos microorganismos patógenos inducen alteraciones que afectan el volumen y calidad de la producción, por lo que amenazan la seguridad alimentaria mundial. También en cada uno de los grupos de microorganismos, existen especies que proporcionan beneficios ambientales, y otros cuyo aprovechamiento genera beneficios al hombre.

En este capítulo se presenta información general de los principales grupos de microorganismos fitopatógenos, y se describen brevemente las pérdidas que ocasionan en la agricultura algunos de los fitopatógenos más importantes de cada grupo de microorganismos. También recopilamos información histórica y reciente, de los beneficios que proporcionan al hombre algunos representantes de cada uno de los grupos de microorganismos más importantes a nivel mundial. Considerando que los microorganismos presentes en los diferentes tipos de ecosistemas, (natural y agroecosistema) han coevolucionado con su hospedante vegetal o animal y responden a los cambios ambientales que ocurren en el medio donde coexisten.

En este documento no pretendemos responder si los microorganismos son aliados o enemigos, únicamente evidenciar que en cada grupo de microorganismos existen especies patógenas y benéficas.

## Los microorganismos fitopatógenos

Los microorganismos que se encuentran en la naturaleza son unicelulares o pluricelulares. En la naturaleza los principales grupos de microorganismos son Nematodos, hongos, bacterias y virus; los cuales generan alteraciones importantes en una planta y coevolucionan con el hospedante. A nivel de poblaciones o comunidades silvestres los efectos no son tan importantes debido a la serie de interacciones que ocurren con otros grupos de microorganismos (plantas y/o animales), mismos que regulan las poblaciones y el efecto de un microorganismo en particular.

Por otro lado, en los campos agrícolas (agroecosistemas) el monocultivo y el manejo agronómico dirigido a incrementar los volúmenes de producción de una especie en particular, modifican la diversidad y la abundancia de los diferentes microorganismos, lo cual altera el tipo de interacciones que ocurren con los diferentes organismos y selecciona con el tiempo poblaciones, especies y grupos de microorganismos que pueden o no inducir una enfermedad con las consecuencias económicas, sociales y ambientales que implica la presencia o no de los microorganismos fitopatógenos en los cultivos agrícolas (Jones, 2021). Los grupos de fitopatógenos más importantes en las plantas son los hongos, las bacterias, fitoplasmas, nematodos, virus, viroides y virusoides. Miembros de cada uno de los grupos de microorganismos pueden encontrarse en las plantas ocasionando pérdidas importantes en los cultivos agrícolas (Rubio *et al.*, 2020; Jones, 2021)

¿Los microorganismos son aliados o enemigos? Es una pregunta difícil de responder; la respuesta parece más a una cuestión de enfoques porque los microorganismos fitopatógenos, si bien son responsables de pérdidas económicas considerables, su presencia en los ambientes naturales y campos agrícolas también ofrecen una serie de beneficios ambientales que mejoran la calidad de vida del hombre además de propiciar la selección de especies vegetales capaces de tolerar y/o responder a las condiciones adversas que ocurren durante el proceso de infección.

## Principales microorganismos fitopatógenos

Para presentar los aspectos benéficos y adversos de los microorganismos, describimos en forma resumida algunos ejemplos en cada uno de los principales grupos de fitopatógenos más importantes.

### 1. Bacterias

Son microorganismos unicelulares que carecen de núcleo, tienen un tamaño alrededor de 1 a 2  $\mu\text{m}$ . La mayoría de las bacterias son saprófitos obligados (se alimentan de materia orgánica muerta) por lo que son responsables de la descomposición de materia orgánica con los beneficios ambientales que ello implica para el hombre.

Entre las bacterias asociadas a las plantas cultivadas se encuentran especies fitopatógenas, que provocan enfermedades no tan importantes como los ocasionados por los virus y hongos fitopatógenos (Agrios, 2005; Navarrete *et al.*, 2016). Las bacterias fitopatógenas causan diversas enfermedades en plantas e inducen la aparición de síntomas como: marchitez, pudriciones blandas, manchas en los diferentes órganos vegetales y deformaciones tales como agallas entre otros. Los síntomas pueden variar debido a factores ambientales como temperatura, humedad, fotoperiodo, así como por el tipo de hospedante (edad, estado nutricional de la planta) y características propias del patógeno como la concentración del inóculo y la raza de la bacteria presente.

Los géneros de bacterias fitopatógenas gram negativas, más importantes son: *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Burkholderia*, *Pectobacterium*, *Dickeya*, *Ralstonia*, *Acidovorax*, *Agrobacterium*, *Erwinia* y *Pantoea*. Mientras que los géneros de bacterias fitopatógenas gram positivas son *Curtobacterium* y *Clavibacter* (Navarrete *et al.*, 2016).

En la actualidad una de las bacterias que está provocando pérdidas millonarias a nivel mundial es *Candidatus liberibacter* (Mattos *et al.*, 2020); agente causal de la enfermedad más desastrosa para la citricultura.

Una breve descripción de una bacteria fitopatógena y algunas bacterias benéficas se presentan a continuación:

### ***Candidatus Liberibacter*, *Agrobacterium* y *Streptomyces***

**Huanglongbing (HLB).** La enfermedad del HLB también conocida como el dragón amarillo de los cítricos, es causada por tres especies de bacterias, *Candidatus liberibacter asiaticus*, *Ca. Li. americanum* y *Ca. Li. africanum*. La bacteria se transmite por insectos de la familia *Psilidae* (*Diaphorina citri* transmite las dos primeras especies y *Trioza eritreae* transmite a *Ca. Li. africanum*) y afecta prácticamente a todas las especies y variedades de cítricos; no se conocen especies del género *Citrus* resistentes a la enfermedad del HLB; así que el impacto de la enfermedad en la citricultura es considerada devastadora (Mattos *et al.*, 2020, Zhou *et al.*, 2020), debido a que los daños causados son peores a los provocados por el virus de la tristeza que causó la muerte de más de 116 millones de cítricos (Mattos *et al.*, 2020).

Los síntomas de la enfermedad (Figura 1), consisten típicamente en un amarillamiento foliar en una sola rama o en un sector de la copa. El amarillamiento foliar se inicia a lo largo de la nervadura y posteriormente se presenta un moteado irregular; los árboles con infección crónica tienen un follaje disperso, muestran bastantes ramas y brotes muertos y los frutos son pequeños, caen prematuramente y tienen un sabor amargo. Finalmente, los árboles mueren debido a la infección. (Zhou *et al.*, 2020).

Es innegable que algunas especies de bacterias son responsables de epidemias en la agricultura. Sin embargo, también podemos citar especies, géneros y grupos completos de bacterias que proporcionan beneficios incalculables al hombre. Algunos de los ejemplos más evidentes son las bacterias del género *Agrobacterium*, *Bacillus* y las Actinobacterias, específicamente del género *Streptomyces*.

## ***Agrobacterium***

Son dos, las especies de *Agrobacterium* consideradas importantes en fitosanidad: *A. tumefaciens* y *A. rhizogenes*, ya que provocan la enfermedad de la agalla de la corona y proliferación de las raíces respectivamente (Bahramnehad *et al.*, 2019). *Agrobacterium* posee un número grande de hospedantes, entre los que se encuentran especies ornamentales, especies leñosas, cereales, leguminosas, especies de importancia industrial etc. Se han reportado más de 600 especies vegetales que son susceptibles de ser infectadas por la bacteria (Ziemienowicz, 2014).

Por otro lado, *Agrobacterium* es considerada como una herramienta importante en la biotecnología vegetal debido a su habilidad para transferir DNA (la región que se transfiere se conoce como T-DNA y se ubica en el plásmido Ti de la bacteria) en el genoma de plantas hospedantes (Thompson *et al.*, 2020). Esta habilidad ha sido aprovechada, modificando el plásmido Ti (plásmido inductor de tumor de *A. tumefaciens*) o plásmido Ri (plásmido inductor de raíces de *A. rhizogenes*) y remplazando la secuencia de genes que inducen la formación de tumor en las plantas por genes de interés (Gelvin, 2003; Díaz *et al.*, 2010; Bahramnehad *et al.*, 2019), de modo que se pueden obtener plantas con características sobresalientes, ya que con la transformación genética mediada por *Agrobacterium*, se pueden incorporar o silenciar genes con la finalidad de otorgar a la planta de interés, nuevas características agronómicas que no podrían obtenerse por cruza, o mutaciones inducidas.

El número de especies vegetales susceptibles a la infección de esta bacteria, refleja por un lado los efectos adversos, pero también es una evidencia de su potencial aprovechamiento biotecnológico, ya que las mismas plantas susceptibles a la infección son igualmente susceptibles de ser mejoradas genéticamente mediante transformación genética mediada por *Agrobacterium*. Un total de 525 eventos de transformación genética en 32 cultivos han sido aprobados para su cultivo en el mundo (Kumar *et al.*, 2021).

La transformación genética en plantas vía *A. tumefaciens* y *A. rhizogenes* ha sido aplicada con éxito en numerosas especies como cereales, frutales y hortalizas. En la industria florícola ha sido utilizada para la generación de variedades con novedad en el color de la flor, en el aroma, en la arquitectura floral y/o de la planta completa (Ahn *et al.*, 2020).

## ***Streptomyces***

Los streptomicetos son las actinobacterias más abundantes en los suelos, pueden encontrarse en el mar y en ambientes extremos (Encheva-Malinova *et al.*, 2014; Andam *et al.*, 2016; Jauri *et al.*, 2016); se caracterizan por formar un micelio unido firmemente al sustrato y cuando las condiciones son adversas por falta de alimento u otra condición estresante producen un micelio aéreo (Jauri *et al.*, 2016; Colombo *et al.*, 2019).

Aunque la mayoría de las especies de *Streptomyces* son bacterias de vida libre, también se han reportado especies endófitas y patógenas a plantas (*S. scabies*) y al hombre (*S. somaliensis*, *S. griseus* y *S. paraguayensis*), otras se encuentran en simbiosis con plantas, insectos y esponjas (Jauri *et al.*, 2016).

La importancia de las bacterias del género *Streptomyces* se debe a que producen más de la mitad de los antibióticos conocidos, algunas especies producen compuestos que funcionan como promotores del crecimiento vegetal (Burukonda *et al.*, 2018; Subramaniam *et al.*, 2020), también producen una gran cantidad de compuestos volátiles como el amonio antimicrobiano que funciona en el antagonismo de bacterias gram positivas y gram negativas (Avalos *et al.*, 2018). Por otro lado, la diversidad de las especies de *Streptomyces* en los diferentes ambientes ha permitido que sean considerados como marcadores de la salud de los suelos (Essarioui *et al.*, 2017), mientras que otros establecen una relación simbiótica con el hospedante como endógenos (Colombo *et al.*, 2019), incluso se han encontrado especies con la habilidad de detoxificar los suelos contaminados con pesticidas, cuando se aplican en forma de consorcios bacterianos (Fuentes *et al.*, 2017).

## **2. Virus y Viroides**

Los virus pueden definirse como partículas de ADN o ARN de cadena doble o sencilla, en sentido positivo (tipo mensajero) o sentido negativo. El material genético está envuelto por una cubierta protéica llamada cápside; la presencia de la cápside es una de las características principales que los diferencia de los viroides, ya que estos últimos contienen ARN desnudo y se les considera como los fitopatógenos más pequeños conocidos en la actualidad (Adkar-Purushothama and Perreault, 2018; Rubio *et al.*, 2020).

Los viroides están compuestos exclusivamente de ARN, su genoma completo es alrededor de 246 a 401 pb, no codifican a ninguna proteína por lo que su movimiento y replicación en las células vegetales depende por completo de la célula vegetal (Adkar-Purushothama and Perreault, 2018).

Los virus por su parte, tienen un tamaño de 4000 a 20000 nucleótidos y aunque su replicación ocurre exclusivamente en células vivas, su genoma codifica algunas proteínas importantes para la replicación, movimiento viral y para la cápside viral (Rubio *et al.*, 2020).

A pesar de que estos patógenos son pequeños al grado que no pueden observarse con un simple microscopio óptico, son responsables año con año de pérdidas alrededor de 30 billones de dólares en la agricultura; por lo que comprometen la alimentación y sobrevivencia del hombre debido a que afectan la producción de medicinas y otros productos de importancia para este (Rubio *et al.*, 2020; Jones, 2021).

Algunos de los virus fitopatógenos más importantes por su distribución y por el número de hospedantes susceptibles son: el Tomato spot wilt virus, Citrus tristeza virus, Bean golden mosaic, Tabaco mosaic virus por mencionar algunos.

### ***Citrus tristeza virus***

Es un virus de ARN que provoca la enfermedad conocida como tristeza de los cítricos; considerada una de las enfermedades más destructivas de los cítricos en el mundo ya que ha provocado la muerte de más de 100 millones de árboles (Shilts *et al.*, 2020).

El virus se transmite por varias especies de pulgones, así que el manejo de la enfermedad implica el control de las poblaciones del vector, uso de patrones resistentes y protección cruzada.

El mayor número de publicaciones relacionadas a los virus y viroides documentan aspectos epidemiológicos como la incidencia y severidad de la enfermedad dependiendo del ambiente, del hospedante y vectores presentes, del mismo modo, aspectos que contribuyan con el manejo de la enfermedad en campo. (Adkar-Purushothama and Perreault, 2018; Folimonova *et al.*, 2020); sin embargo, debido a su simplicidad, los virus han sido utilizados como modelo de estudio en las interacciones planta-patógeno, así como en el conocimiento del funcionamiento del genoma (Landeo-Rios *et al.*, 2017).

Por otra parte, debido a la habilidad de los virus de moverse de célula a célula y de forma sistémica, así como transmitir su genoma a las células infectadas, han sido modificados para su utilización como vectores virales en protocolos de transformación temporal en plantas (Abrahamian *et al.*, 2020); incluso algunas de las vacunas diseñadas contra el Covid-19 (Cansino, Sputnik, Astra Zeneka y Johnson y Johnson) utilizan vectores virales (Ortiz de Lejarazu y Sans, 2021); lo anterior muestra la otra cara de los virus en la cual se obtienen beneficios considerables en el área médica y fitosanitaria. Adicionalmente, algunos autores mencionan que los virus fitopatógenos tienen un papel importante en la selección de poblaciones de especies vegetales y de manera similar los fagos regulan poblaciones bacterianas. Por lo que pueden

funcionar para el control de enfermedades bacterianas de importancia (Prada-Peñaranda *et al.*, 2015).

En el caso de los viroides a pesar de que pueden afectar severamente diversas especies vegetales y frutales (Adkar-Purushothama and Perreault, 2018) provocando síntomas de amarillamiento y enanismos severo, así como reducción en el volumen y calidad de la producción; existen reportes que demuestran el aprovechamiento de variantes no severos como enanzantes biológicos los cuales reducen el porte de las plantas facilitando la cosecha mecanizada además de que la eficiencia productiva es mayor en las plantas infectadas, de este modo se reduce el uso de enanzantes químicos que en su mayoría son altamente tóxicos y adicionalmente se ejerce una protección cruzada contra virus y variantes severas del mismo viroide.

### 3. Hongos y Oomicetos

Los hongos son un grupo de microorganismos pluricelulares, filamentosos. Cada uno de los filamentos del hongo se llama hifas, los cuales se ramifican en todas direcciones y el conjunto de hifas se conoce como micelio. Las hifas pueden o no estar divididas por septos y crecen en forma apical.

Los hongos carecen de clorofila, por lo que su alimentación depende de otros organismos, así que pueden ser saprobio o parásitos y dependiendo de su habilidad para sobrevivir o no de manera estricta, por ello pueden ser parásitos obligados o facultativos (Agrios, 2005). Una característica principal de los hongos es la presencia de quitina en la pared celular; esta es una diferencia fundamental con el grupo de los oomicetos (que carecen de quitina en la pared celular, poseen un micelio cenocítico o no septado y sus esporas son flageladas) los cuales anteriormente se incluyeron como miembros del grupo de los hongos y actualmente se ubican taxonómicamente con el grupo de algas *Stramenopila*.

#### ***Phytophthora infestans*, *Hemileia vastatrix* y *Poconia* sp, hongos micorrizico**

El oomiceto *Phytophthora infestans* es el agente causal del tizón tardío de la papa, el patógeno es considerado uno de los microorganismos más importantes en el mundo; provoca pérdidas por cerca de 6 billones de dólares anuales, además es recordado por causar la hambruna en 1845 en Irlanda, provocando la muerte de más de un millón de personas y la emigración de un número similar (Fry *et al.*, 2015). Cuando las condiciones de temperatura y humedad son altas y el desarrollo del patógeno es propicio, las plantas susceptibles pueden morir en horas.

## ***Hemileia vastatrix* (roya del cafeto)**

La roya del cafeto es causada por el hongo *Hemileia vastatrix* (Berkeley and Broom). La enfermedad es una de las más importantes que afectan al cultivo de café en todo el mundo, ya que puede reducir un 35% hasta un 50% la producción de café dependiendo de la variedad, las condiciones ambientales y severidad de la enfermedad (Soto-Pinto et al., 2002; Honorato et al., 2015).

El impacto de la enfermedad es tal que en algunos países el consumo de café cambió al de té, por la destrucción casi total del cultivo; en otras regiones como en México, la roya del cafeto está resurgiendo en áreas donde eventualmente la enfermedad se consideró de baja importancia debido a las condiciones ambientales y materiales resistentes.

Las pérdidas inducidas por *Phytophthora* y *Hemileia vastatrix* muestran el efecto devastador de los hongos y oomicetos; sin embargo también existen hongos que ofrecen enormes beneficios al hombre, entre los que sobresalen los hongos micorrizos y un número grande de especies de hongos de diversos géneros (*Trichoderma*, *Pochonia*, *Mirrothecium*, hongos micorrizos, *Beauveria*) con actividad nematocida y/o antagonista a hongos y bacterias principalmente (Silva-Valenzuela et al., 2020; Quiñones-Aguilar et al., 2020).

## ***Pochonia* sp**

La mayoría de los hongos del género *Pochonia*, son en su mayoría parásitos facultativos de huevecillos de nematodos enquistadores y nematodos agalladores; así que representan una alternativa para el control biológico de nematodos fitopatógenos, tal como sugieren Arevalo et al. (2012) y Silva-Valenzuela et al. (2020).

## **4. Nematodos**

Son organismos pluricelulares que tienen una forma vermiforme, miden entre 300 y 1000 µm de largo y 15 a 35 µm de ancho (Agrios, 2005). Se conocen un poco más de medio millón de especies de nematodos, pero sólo un poco más de 4000 especies son fitoparásitos (Guzmán et al., 2012). Por otro lado, se estima que a nivel mundial los nematodos fitoparásitos provocan pérdidas de alrededor de 215 billones de dólares anuales.

El daño que ocasionan en los cultivos se debe principalmente a la presencia de un estilete ubicado en la cabeza del nematodo y que funciona como una espada o lanza para perforar la pared de las células de la raíz de las plantas parasitadas, así como para succionar el contenido celular (Silva-Valenzuela et al., 2020). Algunos autores reportan que las heridas que provocan los nematodos durante la alimentación son la causa más importante de las

pérdidas ocasionadas por estos microorganismos, ya que las heridas son la puerta de entrada de hongos, bacterias e incluso de virus fitopatógenos que incrementan considerablemente las pérdidas en los cultivos (Agrios, 2005; Silva-Valenzuela *et al.*, 2020).

Los nematodos fitoparásitos se encuentran generalmente en el suelo donde atacan la raíz de las plantas cultivadas, pero otros se localizan en las hojas, ramas e incluso en las semillas de plantas.

En los campos agrícolas, las plantas infestadas por nematodos se observan inicialmente en pequeños manchones o grupos de plantas, ubicadas en suelos susceptibles a la inundación. Los síntomas más importantes que inducen los nematodos en las plantas son enanismos, amarillamiento, declinamiento y marchitez que sugiere déficit hídrico aún con humedad en el suelo. El grupo de nematodos más importantes en la fitosanidad son los nematodos agalladores del género *Meloidogyne*.

### ***Meloidogyne y Romanomermis***

Los nematodos agalladores del género *Meloidogyne* son el grupo económicamente más importante, pues son responsables del 70% de los daños ocasionados por nematodos. Este género es capaz de reproducirse en más de 3000 especies de plantas cultivadas y silvestres pertenecientes a varias familias de plantas (Mukhtar y Kayani 2020). A pesar de la enorme cantidad de pérdidas debidas a los nematodos fitoparásitos, también existen nematodos que representan alternativas viables para el manejo ecológico de diversas plagas; una de las plagas con distribución mundial y más representativa que puede ser controladas mediante el uso de especies de nematodos del género *Romanomermis*, son los mosquitos. Los nematodos del género *Romanomermis* parasitan larvas de los mosquitos del género *Anopheles*, *Culex*, *Psorophora* y *Aedes* (Santamarina y Pérez, 1998; Pérez-Pacheco *et al.*, 2009; Pérez-Pacheco *et al.*, 2004), los cuales son responsables de la transmisión de los patógenos causales del dengue, paludismo, encefalitis del Nilo occidental, Chikungunya y Zika entre otros (Montero, 2014). Considerando que los mosquitos vectores tienen una distribución mundial y que las enfermedades que transmiten representan una amenaza global; la importancia de los nematodos que pueden controlar estas poblaciones de insectos a nivel de laboratorio y campo resulta incuestionable.

Enfermedad	Efecto	Microorganismo	Referencias
Tizón tardío de la papa	Muerte de un millón de personas y causó la emigración de un número similar de europeos especialmente Irlandeses. Pérdidas por 6000 millones de dólares	<i>Phytophthora infestans</i>	Agrios , 2005 Roman <i>et al.</i> , 2015 Fry <i>et al.</i> , 2015
Tristeza de los cítricos	Muerte de mas de 100 millones de cítricos sobre naranjo agrio en 5 países	<i>Citrus tristeza virus</i>	Shilts <i>et al.</i> , 2020
HLB	Mas 50 millones de árboles muertos	Tres especies de bacterias. <i>Candidatus liberibacter asiaticus</i> , <i>Ca. Li. africanus</i> , <i>Ca. Li. Americanun</i>	Zhou , 2020
Roya del cafeto	Provoco cambios en costumbres en naciones enteras, perdidas de hasta el 50% de la producción de café en 2012 a 2016	<i>Hemileia vastatrix</i>	Henderson, 2019; Molina <i>et al.</i> , 2020.

Cuadro 1. Especies de microorganismos fitopatógenos que han provocado epidemias importantes en cultivos agrícolas.

## Phytoplasmas

Los fitoplasmas pertenecen a un grupo grande de bacterias que se caracterizan por la ausencia de pared celular y núcleo, su ADN se encuentra en el citoplasma y es rico en el contenido de adenina y timina. Estos microorganismos son considerados parásitos obligados de plantas y se encuentran restringidos en los tubos cribosos y células parenquimatosas del floema.

A la fecha no pueden ser cultivados en medios de cultivo *in vitro* y ocasionan múltiples síntomas en las más de mil especies que infectan (forestales, especies ornamentales), sobresaliendo síntomas de virescencia, filodias, malformaciones florales como la “escoba de bruja”; sin embargo otros síntomas que pueden inducir son amarillamiento, enrojecimientos, reducción en el crecimiento, muerte descendente (Marcone et al 2021).

Algunos de los avances más importantes que podemos citar gracias al uso de los virus como modelo de estudio son el conocimiento de los diferentes mecanismos de replicación del ADN o ARN, así como el modelo específico del inicio de la replicación. También ha mejorado el conocimiento sobre el control de la expresión génica a través de la identificación de proteínas

activadoras y represores. Hoy sabemos que el silenciamiento por ARN en plantas es un mecanismo implicado en la regulación de la expresión génica y puede funcionar como una respuesta a la infección viral.

El silenciamiento se induce por la presencia de ARNs de doble cadena, los cuales se forman como intermediarios en el proceso de replicación de viroides y virus de ARN de cadena sencilla (Landeo-Ríos *et al.*, 2017).

Como una respuesta al silenciamiento como mecanismo de defensa de las plantas a la infección viral, los virus codifican en su genoma proteínas supresoras del silenciamiento los cuales pueden interferir en diferentes etapas del proceso al interactuar directamente con el ARN o alguna proteína involucrada en la ruta. Algunos de los supresores de silenciamiento identificados son: HCpro de los Potyvirus, la proteína Nss del TSWV, la proteína p21 de CTV entre otros.

En el cuadro 1 presentamos algunos ejemplos de microorganismos fitopatógenos que han provocado epidemias importantes en cultivos agrícolas, así como el efecto que han ocasionado en plantas como evidencia más clara de lo mencionado en este capítulo.

## **Conclusión**

Entre los principales grupos de microorganismos: bacterias, hongos, virus y nematodos existen especies benéficas y otras patógenas que afectan al hombre, a los animales y/o las plantas. Considerar a los microorganismos aliados o enemigos es, en definitiva, una decisión que depende de factores específicos, por lo que la generalización es cuestionable. Lo que es indudable, es que la presencia de los microorganismos tanto benéficos como patógenos ha provocado una serie de respuestas y o adaptaciones evolutivas en los diferentes hospedantes, así que su importancia en los ecosistemas biológicos ha sido, es y será clave para el desarrollo y evolución de las especies con las que interactúan.

## Referencias

- Abrahamian P, Hammond RW, Hammond J. 2020. Plant virus-derived vectors: Applications in agricultural and medical biotechnology. *Annual Review of Virology* 7:513-535.
- Adkar-Purushothama CR and Perreault JP. 2018. Alterations of the viroid regions that interact with the host defense genes attenuate viroid infection in host plant. *RNA Biology*, 15:7, 955-966, <https://doi.org/10.1080/15476286.2018.1462653>
- Agrios GN. 2005. *Plant pathology*. 5th ed. Elsevier Academic Press, New York.
- Ahn C H, Ramya M, An H R, Park P M, Kim Y J, Lee S Y and Jang S. 2020. Progress and challenges in the improvement of ornamental plants by genome editing. *Plants* 9(6): 687. <https://doi.org/10.3390/plants9060687>
- Andam CP, Doroghazi JR, Campbell A N, Kelly PJ, Choudoir M J and Buckley D H. 2016. A Latitudinal Diversity Gradient in Terrestrial Bacteria of Genus *Streptomyces*. *mBio*, 7(2), e02200–e2215. <https://doi.org/10.1128/mBio.02200-15>
- Avalos M, Garbeva P, Raaijmakers J M and Van Wezel JP. 2018. Production of glycine -derived ammonia as a low cost and long distance antibiotic strategy by *Streptomyces*. <https://dx.doi.org/10.314/acsj.v28i2.1>
- Bahramnejad B, Naji M, Bose R. and Jha S. 2019. A critical review on use of *Agrobacterium rhizogenes* and their associated binary vectors for plant transformation. *Biotechnology Advances* 37: 107405. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.06.004>
- Chung SM, Vaidya M and Tzfira T. 2005. *Agrobacterium* is not alone: gene transfer to plants by viruses and other bacteria. *Trends in Plant Science* 20: 1-4.
- Encheva-Malinova M, Stoyanova M, Avramova H, Pavlova Y, Gocheva B, Ivanova I and Moncheva P. 2014. Antibacterial potential of Streptomyces strains from Antarctic soils. *Biotechnology, biotechnological equipment*, 28(4), 721–727. <https://doi.org/10.1080/13102818.2014.947066>
- Folimonova SY, Achor D and Bar-Joseph B. 2020. Walking Together: Cross-protection, genome conservation, and the replication machinery of *Citrus tristeza virus*. *Viruses* 12: 1353. <https://doi.org/10.3390/v12121353>
- Fuentes M S, Raimondo E E, Amoroso M J and Benimeli CS. 2017. Removal of a mixture of pesticides by a *Streptomyces* consortium: Influence of different soil systems. *Chemosphere*, 173, 359–367. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.044>
- Fry W E, Birch P R J, Judelson H S, Grünwald N J, Danies G, Everts K L, Gevens A J, Gujino B K, Johnson D A, Johnson S B, McGrath M T, Myers K L, Ristaino J B, Roberts P D, Secor G and Smart C D. 2015. Five reasons to consider *Phytophthora infestans* a reemerging pathogen. *Phytopathology* 105(7): 966-981.
- Gelvin S. 2003 *Agrobacterium*-mediated plant transformation: the biology behind the gene-jockeying tool. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 67: 16.
- Guzmán POA, Castaño ZJ, Villegas EB. 2012. Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. *Agronomía* 20 (1): 38 – 50
- Honorato J J, Zambolim L, Silveira-Duarte H S, Aucique-Pérez C E and Avila Rodrigues F 2015. Effects of Epoxiconazole and Pyraclostrobin Fungicides in the Infection Process of *Hemileia vastatrix* on Coffee Leaves as Determined by Chlorophyll a Fluorescence Imaging. *Journal of Phytopathology* 163 (11-12): 968- 977. <https://doi.org/10.1111/jph.12399>

- Jauri PV, Altier N, Kinkel LL. 2016. *Streptomyces* for Sustainability. In: Castro-Sowinski S. (eds) Microbial Models: From Environmental to Industrial Sustainability. Microorganisms for Sustainability, vol 1. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-2555-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-10-2555-6_12)
- Jones RAC. 2021. Global Plant Virus Disease Pandemics and Epidemics. *Plants* 2021, 10, 233. <https://doi.org/10.3390/plants10020233>
- Kado CI. 2014. Historical account on gaining insights on the mechanism of crown gall tumorigenesis induced by *Agrobacterium tumefaciens*. *Frontiers in Microbiology* 5: 1-15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00340>
- Kumar K, Gambhir G, Dass A, Tripathi AK, Singh A, Jha AK, Yadava P, Choudhary M and Rakshit S. 2020. Genetically modified crops: Current status and prospects. *Planta* 251(4): 1-27. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03372-8>
- Marcone C, Valiunas D, Mondal S and Sundararaj R. 2021. On Some Significant Phytoplasma Diseases of Forest Trees: An Update. *Forests* 12 (4): 408. <https://doi.org/10.3390/f12040408>
- Mattos-Jr D, Kadyampakeni D M, da Silva J R, Vashisth T and Boaretto R M. 2020. Reciprocal effects of huanglongbing infection and nutritional status of citrus trees: a review. *Tropical Plant Pathology* 45: 586- 596. <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00389-y>
- Molina P C P, Cabrera C R C, Ceballos G O, Pérez J C y Barradas-Miranda V L. 2020. Hemileia vastatrix: una prospección ante el cambio climático. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(3): 1-9. <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2507>
- Montero A. 2014. Fiebre Chikungunya – Una nueva amenaza global . *Med. Clin (Barc)*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.medcli.2014.05.031>
- Mukhtar T and Kayani MZ. 2020. Comparison of the damaging effects of *Meloidogyne incognita* on a resistant and susceptible cultivar of cucumber. *Plant protection* 79 (1): 83-93. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190359>
- Narusaka Y, Narusaka M, Yamaski S and Iwabunchi M. 2012. Methods to transfer foreign genes to plants. Transgenic plants; Advances and Limitations. Research institute for biological science. Okyama Japan. Pp 173-187.
- Navarrete-Maya R, Aranda-Ocampo S, Rodríguez-Mejía ML, Moya-Hernández SL y Gonzalez-Ochoa MG. Bacterias Fitopatógenas en Semillas: Su Detección y Regulación. 2014. *Revista Mexicana de Fitopatología* 32:
- Ortiz de Lejarazu L R y Sanz M I. 2021. Estado actual de las vacunas frente a la COVID-19. *Revista de Formación Continuada de la Sociedad Española de Medicina de la Adolescencia* 9 (1): 90-101.
- Pérez PR, Rodríguez HC; Lara R; Montes BR; Ramírez V G; Martínez M L.2004. Parasitismo de *Romanomermis iyengari* en larvas de tres especies de mosquitos en laboratorio y de *Anopheles pseudopunctipennis* en campo. *grociencia* 38: 413-421.
- Pérez-Pacheco R, Santamarina-Mijares A, Vásquez-López A, Martínez-Tomás SH, Suárez-Espinosa J. 2009. Efectividad y supervivencia de *Romanomermis culicivorax* en criaderos naturales de larvas de mosquitos. *Agrociencia* 43: 861-868.
- Prada-Peñaranda C, Holguín-Moreno AV, González-Barrios AF, Vives-Flórez MJ. 2015. Fagoterapia, alternativa para el control de las infecciones bacterianas. *Perspectivas en Colombia. Universitas scientiarum* 20 (1): 43-59. doi: 10.11144/Javeriana.SC20-1.faci
- Quiñones-Aguilar E.E, Rincón-Enríquez G, y López-Pérez L. 2020. Hongos micorrízicos nativos como

- promotores de crecimiento en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L). Terra Latinoamericana Número Especial 38-3: 541-554. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.646>
- Reinaldo JRM. 2020. Microorganismos eficientes y su empleo en la protección fitosanitaria de los cultivos. Revista Científica Agroecosistemas - ceema.ucf.edu.cu
- Rubio L, Galipienso L and Ferriol I. 2020. Detection of plant viruses and disease management: Relevance of genetic diversity and evolution. *Frontiers in plant science* 11:1092. Doi: 10.3389/fpls.2020.01092
- Santamarina M A y Pérez P R. 1998. Efecto patogénico del nematodo parásito *Romanomermis iyengari* (Nematoda: Mermithidae) en larvas del mosquito *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en condiciones de laboratorio en el Estado de Oaxaca, México. *Rev cubana med trop* 50 (1): 8-11.
- Shilts T, El-Mohtar C, Dawson WO, Killiny N. *Citrus tristeza virus*. P33 Protein is required for efficient transmission by the Aphid *Aphis (Toxoptera) citricidus* (Kirkaldy). *Viruses*. 2020; 12(10):1131. <https://doi.org/10.3390/v12101131>
- Silva-Valenzuela M, Rojas-Martínez RI, Manzanilla-López R H, Macías-Ruvalcaba M L, Aranda-Ocampo S and Zavaleta-Mejía E. 2020. Endophytic fungi: A biological alternative for the management of plant-parasitic. *Nematropica* 50:101-117.
- Soto-Pinto L, Perfecto I and Caballero-Nieto J. 2002. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55: 37–45.
- Subramaniam G, Thakur V, Saxena RK *et al.* 2020. Complete genome sequence of sixteen plant growth promoting *Streptomyces* strains. *Sci Rep* 10, 10294 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67153-9>
- Tanaka Y, Brugliera F, and Chandler S. 2009. Recent progress of flower colour modification by biotechnology. *International Journal of Molecular Sciences* 10: 5350-5369.
- Vurukonda SSKP, Giovanardi D, Stefani E. 2018. Plant Growth Promoting and Biocontrol Activity of *Streptomyces* spp. as Endophytes. *Int. J. Mol. Sci.* 2018, 19, 952.
- Zhou C. The status of citrus Huanglongbing in China. *Tropical plant pathology* 45: 279–284 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00363-8>
- Ziemienowicz A. 2014. Agrobacterium-mediated plant transformation: Factors, applications and recent advances. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 3: 95–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2013.10.004>

## Capítulo 6

### En el interior de las plantas: visto a través de diferentes microscopios

Ku-González Angela<sup>1\*</sup> y Castaño de la Serna Enrique<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas, Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

\*Autor de correspondencia: angela@cicy.mx

**Palabras clave:** Microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido, tinciones, cortes histológicos, histología vegetal.

### Introducción

El ser humano siempre ha tenido la curiosidad de observar todo lo que nos rodea, plantas, animales, insectos y de todo aquello que cause asombro. En ese afán de poder ver lo imperceptible a simple vista se inventó el primer microscopio. No hay certeza de quien lo hizo primero, Galileo Galilei o Antony Van Leeuwenhoek, pero se han hecho innumerables hallazgos a nivel microscópico que han permitido un gran avance científico. Hoy en día siguen desarrollándose nuevas tecnologías para observar todo aquello que no podemos ver con nuestros ojos. En este capítulo queremos mostrar algunas imágenes microscópicas o micrografías, de las plantas que son parte de nuestra vida diaria. El poder verlas a nivel celular nos permite hacer descripciones y estudios a nivel de investigación científica sobre mecanismos funcionales para incrementar nuestro conocimiento al igual que beneficios que nos brinda esta información.

### El microscopio

Inicialmente el hombre evolucionó al ir resolviendo necesidades básicas con la creación de herramientas que le permitieron transformar su entorno; esto marcó el comienzo de la civilización que continúa al día de hoy al igual que nuestra propia evolución.

Desde el descubrimiento del fuego, la creación de herramientas y el desarrollo del lenguaje; hasta los más recientes desarrollos que han permitido el aprovechamiento de la desintegración de átomos, la exploración del sistema solar y el desarrollo de múltiples disciplinas o campos de la ciencia. El ser humano ha realizado numerosos aportes para entender un poco más la naturaleza que nos rodea al igual que nuestra propia existencia (Vega, 2012).



Figura 1. El microscopio y las células vegetales.

En la Figura 1 se puede observar una imagen de Alejandro Núñez donde se muestra una representación de una célula vegetal y algunos organelos con diferentes técnicas de iluminación. Tal como se dieron a conocer las primeras imágenes microscópicas, dibujando lo que se veía a través de las lentes

Los organismos vivos han sido estudiados bajo diferentes puntos de vista en relación con al ambiente en que viven. Durante cada época se han introducido experiencias y conocimientos desarrollando nuevas perspectivas para su estudio y entendimiento.

Antes de la invención de los microscopios era imposible ver las bacterias. El instrumento básico para el diagnóstico de múltiples enfermedades fue en un principio dado con el uso del microscopio óptico y al día de hoy continúa siendo imprescindible en los laboratorios de investigación y de diagnóstico. (Herrero, 2008)



Figura 2. Microscopio simple de Leeuwenhoek (tomado de internet <http://csnaturalesfc.blogspot.com>)

A partir del descubrimiento y descripción del mundo microscópico a finales del siglo XVII por Antony van Leeuwenhoek, se dio inicio al estudio de una nueva área con el descubrimiento de la célula como unidad de la vida. (Figura 2). Esto permitió a Matthias Schleiden y Theodor Schwann presentar la doctrina de la célula, la cual postula que las plantas y los animales no son un todo indivisible, sino que son compuestos, hechos de innumerables células, y cada célula en sí misma es un organismo, con los atributos esenciales de la vida. (Herrero, 2012)

Las plantas son esenciales para nuestra vida ya que dependemos de ellas tanto en sustento alimenticio, medicinas diversas y materiales que nos cubren y protegen. También son parte de nuestro entorno y contribuyen a que nuestro planeta logre mantener un gran número de especies que dependen de ellas.

Son las plantas en la ciencia y nuestra vida el enfoque de esta sección: Inspírate, anímate y descúbrelas a través de diferentes microscopios usados en las ciencias de la vida.

## Imágenes de plantas

Aunque todos apreciamos las plantas, uno se debe preguntar cuantas veces nos hemos detenido para observarlas. Qué diferencias o características tienen cada una de las plantas que comemos, como ornamento en nuestras casas, en la agricultura y en general en cada ecosistema. Cada particularidad tiene su origen a nivel celular, cada forma, textura y color.

En este capítulo, queremos mostrar las características que existen en diferentes órganos que conforman las partes de plantas tan comunes que a veces nos resulta increíble cómo se observan al ir aumentado muchas veces el tamaño de las células.

Página a página irán descubriendo las imágenes que podemos tomar con el uso de los microscopios que hay en los laboratorios de investigación y esas imágenes aportan información de mucha relevancia en distintas ramas de la ciencia; pero antes debemos hablar de los microscopios que utilizamos para obtener las imágenes. En la vida científica, el microscopio es una herramienta indispensable de los laboratorios, ya que nos proporciona información inmediata y muchas veces directa de la planta que estamos estudiando. Para las imágenes de este capítulo usamos dos tipos de microscopios: óptico y electrónico y estos se caracterizan por la fuente que ilumina a la muestra que queremos observar.

El microscopio óptico utiliza una lámpara halógena para iluminar la preparación y poder observar el rango de luz visible, pero si esta fuente de iluminación la cambiamos por láseres de distintas longitudes de onda del espectro en conjunto de la implementación de sensores que captan un mayor rango de frecuencias, nos permite visualizar las marcas fluorescentes que están emitiendo las muestras al excitar las moléculas con la longitud de onda adecuada.

La toma de imágenes con el microscopio electrónico de barrido, consiste en recorrer la muestra con un haz muy concentrado de electrones en la superficie y nos proporciona imágenes en blanco y negro. Una característica especial para observar las plantas es que tenemos que hacerlas conductoras con un recubrimiento de oro o aleaciones de oro.

Como podrán imaginar estas herramientas para mirar el interior de las células a la fecha tiene un costo elevado, por lo que existen pocos microscopios con estas características en el país. En las figuras 3 y 4 se pueden observar los componentes de cada microscopio así como el tamaño que tienen.



Figura 3. Microscopio de barrido laser confocal



Figura 4. Microscopio electrónico de barrido

## Las partes que componen una planta

### La raíz

Las raíces son los órganos que se encargan de tomar los nutrientes y agua necesarios para las plantas, pero ¿nos hemos fijados en las raíces de las plantas y su importancia para el buen crecimiento de ellas? Veamos un ejemplo con la cebolla cambray o cebollín (*Allium fistulosum*) que normalmente vemos en manojos en los mercados o supermercados.

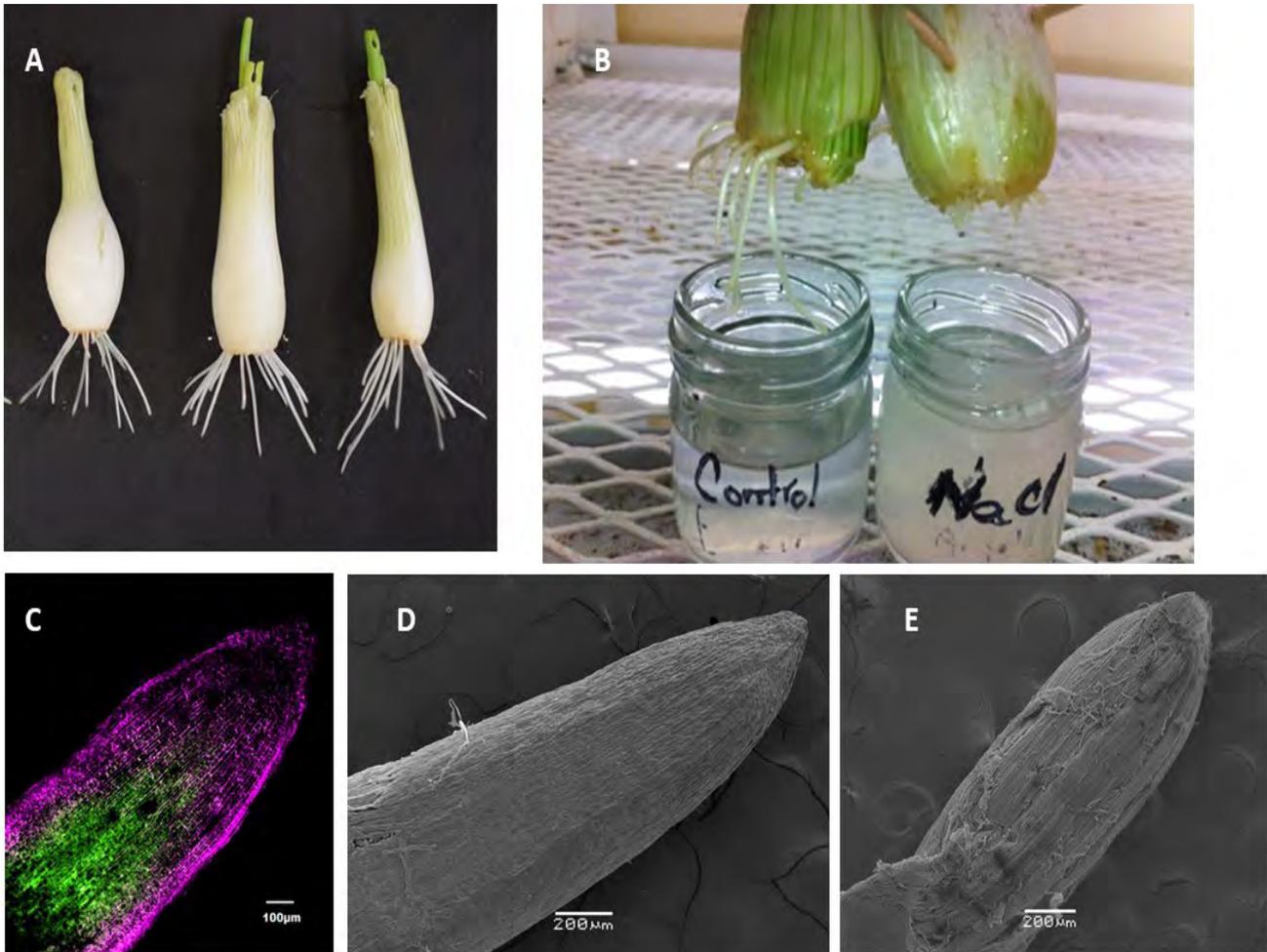


Figura 5. Cebollas cambray en cultivo hidropónico y con exceso de sal (NaCl). A) Cebollas produciendo raíces en cultivo. B) se observan las raíces de una cebolla cambray, control es la que crece en agua y la de la derecha tiene un exceso de sal y podemos observar que crece más lentamente. C) Microscopía de fluorescencia de una raíz de cebolla mostrando distintos tipos celulares. Pero si usamos un microscopio electrónico de barrido que es capaz de lograr muchos aumentos vemos más detalladamente esas raíces como se observa en la figura D) con crecimiento normal y en la figura E) su estructura alterada por el exceso de sal.

## El tallo

El tallo de diversas plantas es una de las estructuras que aprovecha la humanidad; para la construcción en forma de madera o en la obtención de azúcares en plantas como la caña de azúcar por citar algunos ejemplos.

El tallo es la estructura que aparte de dar soporte a las plantas se encarga de distribuir los nutrientes hacia las partes aéreas; además acumula azúcares tanto en forma de almidones como en forma de celulosa, la cual da el soporte estructural y permite tener plantas de gran longitud.

Como dato curioso el tallo más grande en diámetro pertenece al Ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) encontrado en Oaxaca. Este árbol tiene un tronco con un perímetro de 42 metros. En la figura 6 podemos observar el tallo de una planta de chile habanero (*Capsicum chinense*) que es una herbácea, donde la diferencia de tejidos es clara mostrando la gran cantidad de tubos que permiten el transporte de agua y nutrientes entre hojas y raíces.

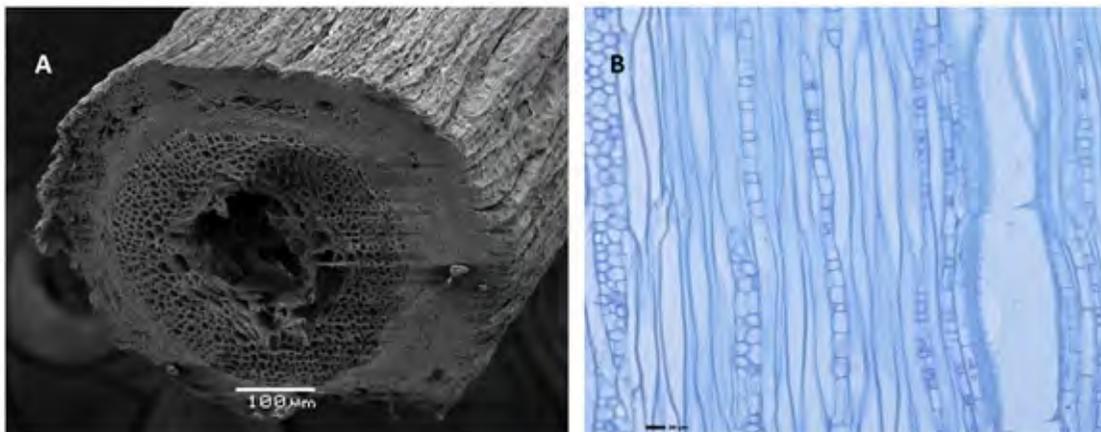


Figura 6. Tallos bajo el microscopio. A) Tallo de plántula de chile habanero por microscopía electrónica de barrido. B) Corte histológico transversal de tallo de chile habanero visualizado por microscopía óptica y una tinción de contraste donde se pueden observar las células que permiten el conducto de nutrientes y agua y células de desarrollo.

## Las hojas

Las hojas son las estructuras de las plantas encargadas de realizar la fotosíntesis, la respiración y la transpiración. Son primordiales para la captación de luz, sin embargo no todas las condiciones ambientales son iguales, ni todas las regiones de este mundo tienen las mismas características; algunas poseen una capa de ceras para evitar la deshidratación en zonas secas, otras pueden acumular granos de sal cuando viven cerca del mar.

Las hojas son las encargadas de crear los azúcares y son los primeros sensores del mundo por encima del suelo para las plantas; también son uno de los principales alimentos para la gran mayoría de los animales. ¿Alguna vez se han preguntado cuál es la diferencia entre una hoja de sábila, una de pino y una hoja de planta acuática? Compáren las distintas hojas mostradas en la figura 7, todas tienen formas, espinas y tamaños diferentes.

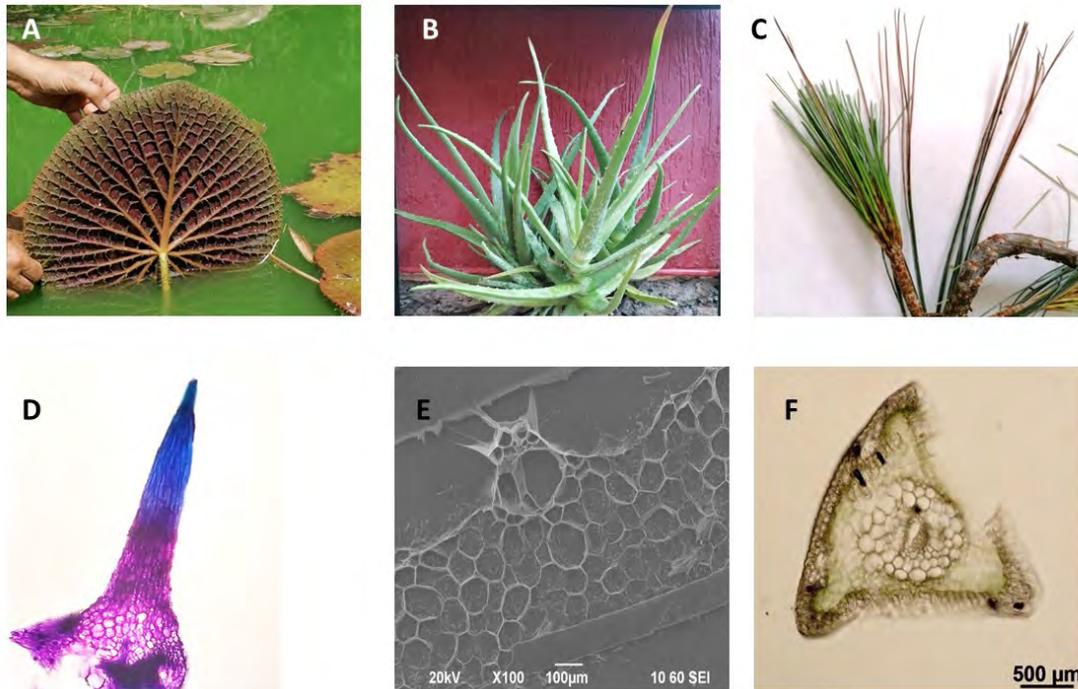


Figura 7. Comparación de las hojas a diferentes niveles ópticos. A) Hoja de planta acuática Nenufar (*Victoria amazonica*), B) Hojas de sábila (*Aloe vera*). C) hojas de pino (*Pinos montezumae*). D) Microscopia campo claro con tinción de contraste de espina de hoja de Nenufar Victoria, estas espinas están distribuidas en la parte sumergida de la hoja. E) Hoja de sábila visto en el microscopio electrónico de barrido, la mayor parte de la hoja la compone el gel transparente y F) Corte histológico de hoja de pino visto bajo el microscopio óptico.

## Las flores

Son los órganos reproductores y tal vez sean los órganos más admirados de las plantas. Algunas flores tienen una belleza extraordinaria, a veces exótica, a veces con los aromas más intensos.

En la historia del hombre, por siglos se han colectado y utilizado para distintos rituales, a la fecha siguen siendo usadas para despedir a nuestros seres queridos, pero también para adornar nuestro entorno.

Las flores en algunos casos son consumidas como alimento, como las flores de calabaza o la coliflor, sin embargo en otros casos acumulan toxinas capaces de dañarnos.

La flor más grande del mundo es el aro gigante o bunga bangkai (*Amorphophallus titanum*) con el récord de 2.74 metros. Y la flor más venerada en el mundo es el Loto, pero ¿cómo son las células que conforman los pétalos?

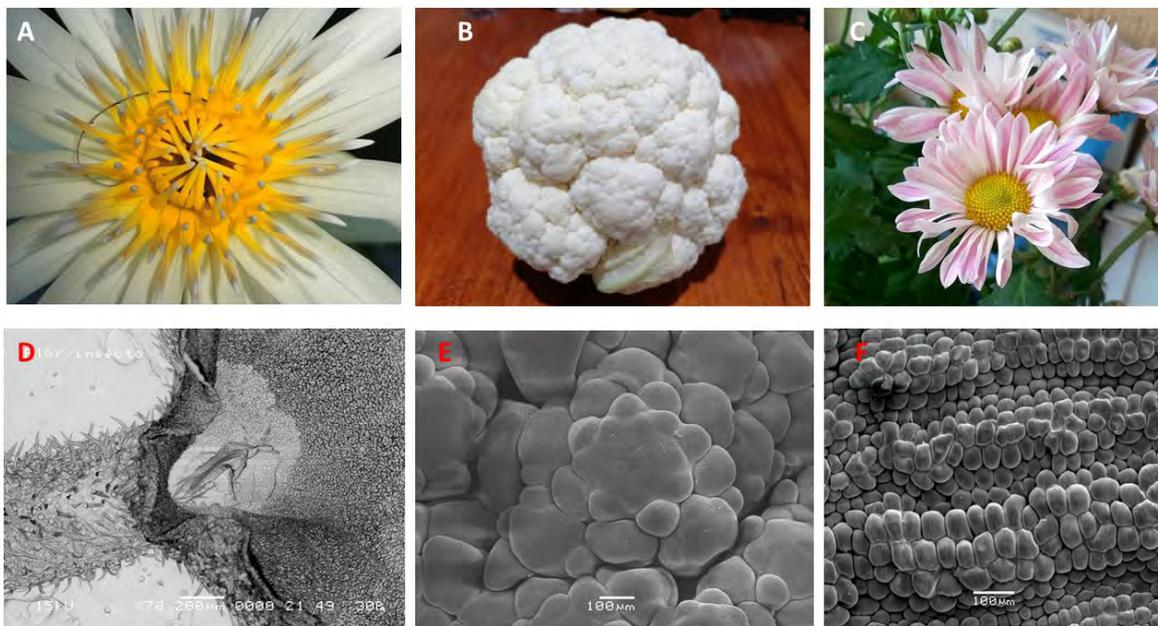


Figura 8. Flores diversas observadas antes (A, B y C) y después de magnificación por microscopía electrónica de barrido (D, E y F). Las imágenes A) y D) son flores con insectos que viven dentro de ellos y que no son observados a simple vista. Las imágenes B) y E) son de una coliflor que comemos en las sopas. Las imágenes C) y F) Flores de crisantemo y se observa una magnificación de las células que componen los pétalos.

## Los frutos

Estas estructuras de las plantas permiten almacenar nutrientes requeridos para que la progenie o semilla que se localiza adentro pueda tener oportunidad para sobrevivir; como tal, el tener un fruto comestible es una estrategia de muchas plantas para utilizar organismos no sésiles que puedan diseminar la especie en diferentes regiones. Los frutos sirven también como protección para la semilla y el cambio del sabor cuando la semilla todavía no está lista evita en muchos casos que esta sea consumida antes de tiempo.

Existen diversos tipos de frutos entre las plantas. Muchos son tóxicos para nosotros, capaces de matarnos en cuestión de horas, pero pueden ser ingeridos por otros organismos; muchos han evolucionado para que sólo unos cuantos animales puedan comerlas y llevar la semilla a zonas donde se libere y la especie pueda seguir existiendo.

La humanidad por mucho tiempo ha seleccionado una gran cantidad de especies que utilizamos para nuestra alimentación y proporciona un excelente postre que puede tener valiosas vitaminas y nutrientes, además de que se usan algunos de sus componentes para la elaboración de distintos productos, desde complementos de pinturas, cosméticos, colorantes alimenticios etc. ¡El fruto más grande es la calabaza gigante con un record de 1190 kilogramos!

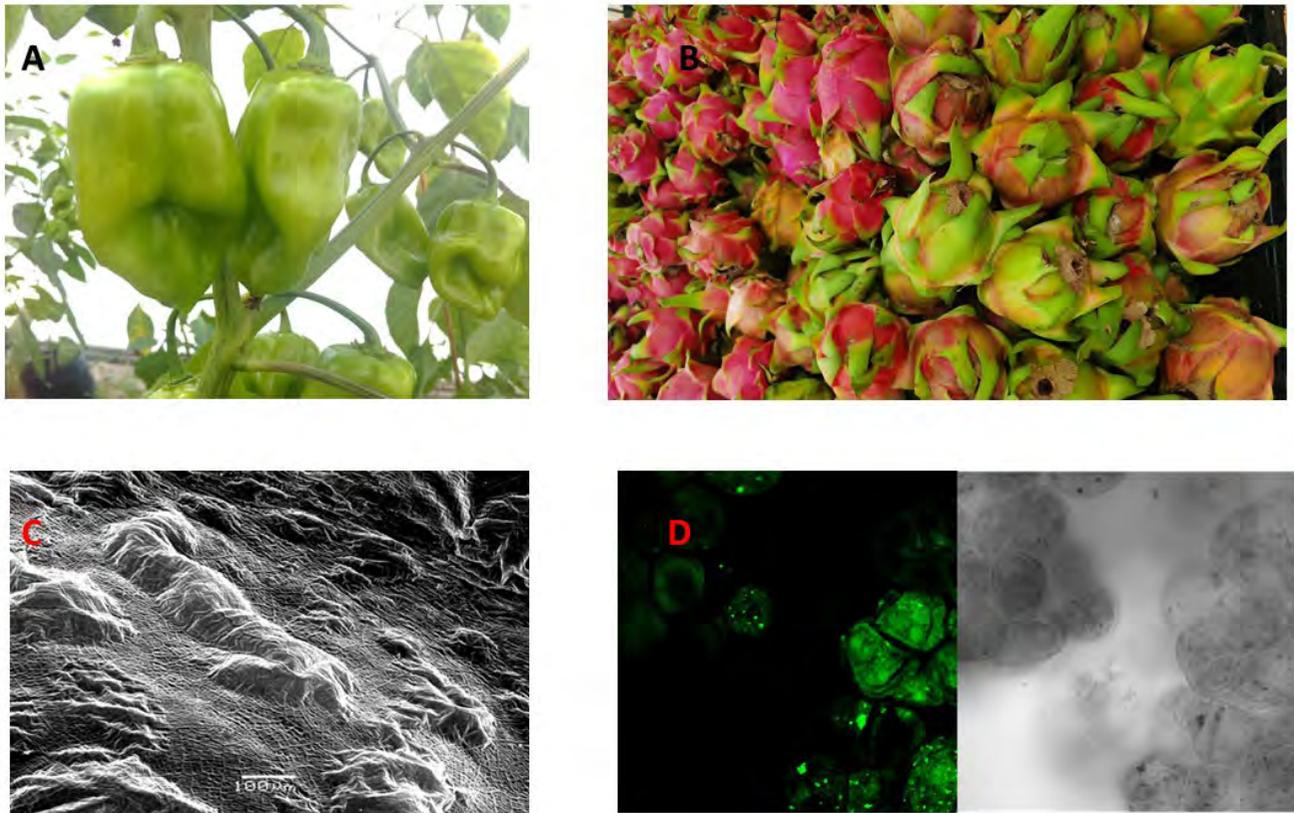


Figura 9. Los frutos y sus interiores. A) Frutos de chile habanero. B) Frutos de Pitahaya. D. Placenta o el corazón de chile habanero donde se acumula la capsaicina que da el picor del chile. E) células de pitaya vistas en microscopio de fluorescencia y en campo claro- La coloración verde nos indica la presencia de una molécula característica del color de la pitaya.

## Las semillas

Finalmente, las semillas son las encargadas de generar una nueva planta. Son estas estructuras las que mantienen un grupo de células sin diferenciar que permitirá generar todos los tipos de células. Estas células madre o totipotenciales requieren de azúcares protectores y lípidos o grasas para evitar su deshidratación.

En el caso de carecer de estos, las células durarán poco tiempo vivas requiriendo como es el caso de las orquídeas de un medio rico en nutrientes que le permita sobrevivir junto con condiciones adecuadas de humedad y temperatura.



Figura 10. Comparación de semillas antes y después de microscopia electrónica de barrido A) granos de arroz, B) semillas de orquídeas y C) Granos de arroz en germinación amplificado 13 veces y D) Semillas de Orquídea dispersos y amplificado 200 veces.

Como pueden “ver” estimados lectores, las plantas y sus células no dejan de sorprendernos y más si tenemos herramientas cada día más poderosas para poder observarlas. La ciencia y la tecnología nos permiten obtener cada día conocimientos para nuestro beneficio y para mejorar nuestro entorno. Nunca pierdan la curiosidad, porque de ahí nacen muchas preguntas y la búsqueda de respuestas.

## Conclusión

Como se mencionó en el capítulo, pocas veces nos preguntamos o nos acercamos a observar detenidamente las plantas. Mostrar algunas imágenes microscópicas o micrografías de las plantas nos permite conocerlas mejor, tener una idea de su estructura a otro nivel más allá de lo que tenemos a simple vista, descubrimos casi un mundo diferente y con más detalles, mismos que en ciencia hacen la diferencia y generan información sobresaliente y útil.

## Agradecimientos

A los laboratorios de Microscopia electrónica de barrido, microscopia confocal y de histología vegetal del Centro de Investigación Científica de Yucatán. A Conacyt por los equipos adquiridos con proyectos de infraestructura.

## Referencias

- Aldana-luit JG, Sauri-Duch E, Miranda-Ham Mde L, Castro-Concha LA, Cuevas-Glory LF, Vázquez-Flota FA. Nitrate promotes capsaicin accumulation in *Capsicum chinense* immobilized placentas. *Biomed Res Int*. 2015;2015:794084. doi: 10.1155/2015/794084. Epub 2015 Feb 1. PMID: 25710024; PMCID: PMC4331322.
- Bojórquez-Quintal E, Velarde-Buendía A, Ku-González Á, Carillo-Pech M, Ortega-Camacho D, Echevarría-Machado I, Pottosin I and Martínez-Estévez M (2014) Mechanisms of salt tolerance in habanero pepper plants (*Capsicum chinense* Jacq.): Proline accumulation, ions dynamics and sodium root-shoot partition and compartmentation. *Front. Plant Sci*. 5:605. doi: 10.3389/fpls.2014.00605
- Herrero Uribe L. Del mecanicismo a la complejidad en la biología. *Rev biol trop* [Internet]. 2008 mar [citado 16 may 2014]; 56(1):[aprox. 10 p.]. Disponible en: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442008000100030&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442008000100030&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Javier MV, Enciso G. Patología molecular: aspectos básicos. *Rev avan cienc vet* [Internet]. 2010 dic [citado 16 may 2014]; 10(1):[aprox. 15 p.]. Disponible en: <http://www.cyberhumanitatis.uchile.cl/index.php/ACV/article/viewArticle/10435/10491>
- Ledermann W. ¿Quién las vio primero?. *Rev chil infectol* [Internet]. 2012 jun [citado 16 may 2014]; 29(3):[aprox. 8 p.]. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-10182012000300017&script=sci\\_arttext&tlng=e](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-10182012000300017&script=sci_arttext&tlng=e)
- Vega MA. Aspectos y avances en ciencia, tecnología e innovación. *Polis Rev Latin* [Internet]. 2012 dic [citado 16 may 2014]; 11(33):[aprox. 19 p.]. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-65682012000300022&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-65682012000300022&script=sci_arttext&tlng=pt)

## Capítulo 7

### Usos y aplicaciones de las plantas en temas de salud y farmacia

Tanya Amanda Camacho Villegas<sup>1</sup>, Julia Cano Sosa<sup>2</sup>, Pavel Hayl Lugo Fabres<sup>1</sup>, Alba Adriana Vallejo Cardona<sup>1</sup>, Daniel Couoh May<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>CONACYT-CIATEJ, Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica. Av. Normalistas 800 Colinas de La Normal 44270 Guadalajara, Jalisco, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Subsede Sureste. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná puerto. Parque Científico Tecnológico de Yucatán. CP 97302 Mérida, Yucatán, México.

<sup>3</sup>Laboratorio de Apoyo a la Vigilancia Epidemiológica. Unidad Médica de Alta Especialidad. Hospital de Especialidades 1. Instituto Mexicano del Seguro Social. C.P. 97150. Mérida, Yucatán, México.

\*Autor de correspondencia: danielcouoh@gmail.com

**Palabras clave:** Plantas, salud, farmacología, compuestos bioactivos.

### Introducción

Desde los orígenes de la humanidad el hombre identificó en las plantas ciertas propiedades que le ayudaban a mantener la salud y durante muchos años estos fueron los únicos recursos disponibles en dicha materia y aparecen los primeros pensadores que buscan entender este proceso, lo cual le da un enfoque científico al efecto de las plantas sobre el organismo y se identifican los componentes responsables. Con la industrialización se logran producir las primeras moléculas sintéticas y eso daría un gran impulso a muchas áreas de la ciencia incluyendo a la Farmacología, dando pie a numerosos estudios que evaluaban de manera específica los efectos de ciertos componentes de las plantas sobre la salud humana. Al día de hoy las plantas continúan siendo un gran aliado en el afán del hombre de mantener la salud, lo cual remarca la importancia de preservar dicho recurso.

### ¿Cómo las plantas se volvieron tan elementales en nuestra salud?

El hombre como un ser dotado de inteligencia ha interactuado con el entorno desde el origen de la humanidad misma, aprendiendo a hacer uso del mismo en beneficio propio. En dicha interacción se encontró con los elementos biológicos que le rodeaban y de manera específica con las plantas, las cuales usó en diferentes formas y sentidos probablemente de manera instintiva, hasta que aprendió a usarlas como un elemento capaz de mejorar y mantener la salud, surgiendo de esta manera la estrecha relación entre el hombre y las plantas. Este mismo hombre

primitivo, adquiere este conocimiento y se vuelve capaz de registrar, así como de transmitir esta información a las siguientes generaciones. La humanidad continúa su desarrollo y este mismo fenómeno se va presentando en diferentes regiones del globo terráqueo, de tal forma que este se va desarrollando en base a las características propias de las civilizaciones y del lugar donde habitaban, ya que muchas plantas son endémicas para determinadas zonas; de igual manera se van incluyendo aspectos culturales y religiosos, pero también se mezclan aspectos importantes como la experiencia y la observación que van enriqueciendo este conocimiento día a día.

Posterior a esto, la humanidad inicia los primeros viajes exploratorios más allá del entorno que los rodea, inician las expediciones, los viajes mercantes, las conquistas y en este contexto la información que se tiene acerca de las plantas adquiere un valor particular; así lo demuestran diversas expediciones en donde se designaba a personajes cuya labor era coleccionar toda esta información. Empiezan a formarse registros, dibujos, bitácoras, entre otros; así como también inician las primeras labores de investigación para identificar, clasificar y ordenar a las plantas en base a sus características, haciendo énfasis en el efecto que tenían en el organismo (“The Cultural History of Plants,” 2005).

Cuando se habla de Medicina basada en las plantas o medicina tradicional, se tiene la tendencia de pensar en las culturas asiáticas o de Medio Oriente, esto probablemente porque los registros más antiguos que se tienen sobre el tema provienen de estas regiones; por ejemplo la evidencia escrita más antigua del uso de plantas medicinales para la preparación de drogas se ha encontrado en una losa de arcilla sumeria de Nagpur, de aproximadamente 5000 años, la cual comprende 12 recetas para la preparación de medicamentos que se refieren a más de 250 plantas diferentes. El emperador chino Shen Nung aproximadamente en el año 2500 a. C. escribe el libro “Pen T’Sao” donde se refiere a partes secas de plantas y sus efectos sobre el organismo (Jamshidi-Kia et al., 2018); sin embargo prácticamente todas las culturas del planeta cuentan con conocimientos en materia de medicina tradicional, pero no en todas las culturas esto fue documentado, lo que podría explicar este hecho.

El Continente Americano cuenta con una extensa vegetación y por tanto una extensa cantidad de recursos que fueron aprovechados por diversas culturas que en él se desarrollaron. Nuestro país, México, de igual manera cuenta con un extenso conocimiento en cuanto a Medicina Tradicional y curación con plantas; hay registros de códices indígenas que hablan acerca de las plantas y su acción sobre la salud, aunque mezclando algunos aspectos religiosos (Lagarriga, I, 2000).

El conocimiento que tenemos sobre el uso de plantas para curar enfermedades principalmente se transmitió y aún se transmite de manera oral de generación en generación y en México y otras partes del mundo, forma parte de la cultura de los pueblos indígenas y de su medicina tradicional. De la mano de la ciencia ha motivado la realización de estudios para determinar compuestos de interés farmacológico para la salud (Cosme 2008).

En la edad media, con la sociedad avanzando hacia el desarrollo de la ciencia, Paracelso, el padre de la Farmacología Química, médico y químico suizo, fue el primero en señalar que las propiedades medicinales de las plantas radican en sus principios activos aislables por técnicas alquímicas. Esta observación constituye la base de la Farmacología Moderna; luego y gracias al desarrollo de la síntesis química, hombres de ciencia lograron “copiar” núcleos básicos de moléculas exitosas desde la naturaleza para mejorarlas haciéndolas más selectivas y seguras (Avello & Cisternas, 2019). A la par, fueron avanzando de manera vertiginosa otras ciencias como la medicina, química, farmacología y síntesis orgánica entre otras, que en este desarrollo tuvieron como una fuente fundamental de recursos el conocimiento que se tiene del efecto de las plantas sobre la salud humana.

A principios del siglo XVII aparecen las primeras droguerías donde se tenían productos derivados de plantas, las cuales eran cultivadas en jardines de plantas medicinales. A mediados de este mismo siglo aparecen las primeras fábricas de medicamentos basándose parte de la producción en extraer compuestos activos de plantas. En la época moderna, la implementación del método científico permitió que estos conocimientos de épocas pasadas se pusieran a prueba y de esta manera tener un control sobre los efectos terapéuticos (*Plants and People: Our Shared History and Future | Enhanced Reader*, n.d.). Al día de hoy, numerosas investigaciones siguen evaluando de manera cada vez más específica ciertos efectos de las plantas, aislando compuestos con diversas actividades biológicas, haciendo de las plantas un extraordinario recurso con el que se cuenta en el afán de mantener la salud humana; sin embargo como cualquier recurso este debe de cuidarse y los gobiernos actuales deben no sólo reglamentar, sino también proteger y de igual manera promover la medicina basada en las plantas (Martínez Aguilar & Arellanes Cancino, 2019).

Al pasar de los años las plantas han demostrado ser un aliado natural para la humanidad en situaciones de contingencia como guerras, epidemias o pandemias como la del SARS-CoV-2 que puso a prueba los sistemas de salud mundiales y en donde la Medicina Tradicional recobró importancia al contar con numerosas alternativas de origen natural que aminoran los efectos de la enfermedad.

## **¿Dónde estamos? ¿Qué sabemos sobre el tema hasta ahora?**

Son múltiples los avances que se tiene sobre el tema, en esta sección mencionaremos algunos para dar idea del gran aporte que tienen las plantas en el área de salud.

¿Sabías que desde 1785 existen trabajos en la planta conocida como dedalera (*Digitalis purpurea* y *Digitalis lanata*) y que de ella se extraen compuestos denominados glucosidos cardiacos que se utilizan para tratar insuficiencia cardíaca congestiva (Whayne, 2018), o que la aspirina obtenida desde 1897 y que utilizamos comúnmente en nuestros días para aliviar dolores

de cabeza, su principio activo, el ácido acetilsalicílico se extrae de la corteza del sauce blanco cuyo nombre científico es *Salix alba* y actualmente posee muchos más usos? (Desborough and Keeling, 2017).

Actualmente existen múltiples estudios con la mirada hacia los procesos inflamatorios ya que es considerada la primera respuesta del cuerpo ante una infección o lesión; como ejemplo acorde a lo que actualmente estamos viviendo por la pandemia generada por el SARS-COV-2 que provoca un síndrome respiratorio agudo, que en casos graves provoca inflamación sistémica generalizada. Estudios sugieren que compuestos como los polifenoles que son sustancias químicas presentes en plantas reducen la incidencia de una variedad de enfermedades inflamatorias y los podemos encontrar en frutas como las uvas, fresas, frambuesas, granada, arándanos, frutos secos, en legumbres como las lentejas, en el té y el cacao; por lo cual los polifenoles de la dieta ejercen una acción positiva en la salud (Sangiovanni and Dell’Agli, 2020). En este mismo contexto podemos mencionar el Té de hojas de guayaba (Fig. 1), que fortalece el sistema inmunológico, posee propiedades antiinflamatorias y cuyo uso se difundió ampliamente durante la actual pandemia (Huaccho Rojas et al., 2020).



Figura 1. *Psidium guajava*. Nombre común: Guayaba.

Así también han surgido hipótesis importantes de verificar, como el caso de los aceites esenciales obtenidos de plantas que ahora son ampliamente utilizados y que poseen efectos contra la inflamación e incluso propiedades antivirales por lo que podrían utilizarse contra el SARC-CoV-2 (Asif et al., 2020), el canabinol que es un compuesto producido por *Cannabis sativa* (marihuana) que también ha demostrado efectos contra la inflamación podría ser probado como alternativa para fármacos contra enfermedades como el COVID-19 (Esposito et al., 2020) ( Graczyk et al., 2021).

Pensando en cebollas y ajos que comúnmente utilizamos en la cocina, están asociados a la disminución del riesgo de padecer diferentes tipos cáncer como cáncer de colón, de estómago, próstata y esófago. En el caso de estas verduras los nutrientes y compuestos bioactivos (que aportan beneficio a la salud) centran su beneficio en sus compuestos con azufre que les dan su olor y sabor característico (Nicastro et al., 2015).

Otro padecimiento ampliamente conocido y que afecta a gran parte de la población mexicana ocasionando muertes y que es uno de los principales problemas de salud, es la diabetes mellitus o tipo 2 como también se le conoce, en cuyo caso las personas que la padecen tiene altos niveles de glucosa en sangre lo que ocasiona deterioro y afecta múltiples órganos del cuerpo. En México se reporta la sorprendente cantidad de 12,8 millones de diabéticos con los cuales se utilizan fármacos como la hormona insulina, pero muchos ya presentan resistencia a ella, por lo cual una opción para tratamientos podrían ser las plantas reportadas como hipoglucemiantes (disminuyen los niveles de glucosa). En México existen al menos unas 300 plantas con esta capacidad (Escandón et al., 2020).

Actualmente se conocen muchos compuestos bioactivos de plantas como son taxoides, polisacáridos, flavonas, ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides, esteroides, cumarinas y alcaloides; los cuales pueden tener efectos antioxidantes, antiinflamatorios entre otros Yang et al., 2018) (Mena and Angelino, 2020). Fig. 2 (frutos con compuestos bioactivos)



Figura 2. Ejemplos de frutos con compuestos bioactivos.

Con el apoyo de la Biotecnología vegetal (técnicas de laboratorio que se utilizan con plantas o partes de ella para obtener productos o modificarlos) asociada al tema de salud podemos obtener proteínas terapéuticas, vacunas, enzimas a un menor costo y de manera más eficaz (Shinmyo and Kato, 2010).

Aún faltan datos más sólidos porque es importante visualizar hacia donde nos dirigimos con los estudios sobre plantas medicinales ya que son nuestro mejor aliado en beneficio de la salud.

Como parte del tema y de las bondades que tienen las plantas también es importante mencionar la parte de seguridad en la utilización de productos o compuestos derivados de plantas, ya que cada vez su uso es más extenso, en ocasiones combinados con fármacos y esto puede ocasionar interacciones desfavorables para la salud.

El uso seguro de metabolitos de plantas requiere evaluaciones en laboratorios, ensayos y estudios denominados preclínicos, es decir, debe haber rigor científico ya que no por el hecho de ser productos naturales son inofensivos ya que pueden ser incluso tóxicos (Sáenz, 2004).

En cuanto a normatividad en México existe la NORMA Oficial Mexicana NOM-248-SSA1-2011, Buenas prácticas de fabricación para establecimientos dedicados a la fabricación de remedios herbolarios, pero aún nos falta más trabajo en materia de seguridad de productos naturales para garantizar el uso correcto de los mismos, por lo que no olvides que las plantas son fuente de metabolitos importantes para la salud pero deben ser avalados por estudios científicos, así que infórmate antes de consumir algún preparado natural.

## **¿Hacia dónde vamos?**

Los extractos medicinales con capacidades terapéuticas preparados a partir de plantas se han usado desde inicios de la civilización, inicialmente los primeros pobladores observaron sus efectos en los animales que las consumían como parte de su alimentación y luego, imitaron el consumo en crudo. Posteriormente, formularon extractos refinados de las plantas, tratando de concentrar sus componentes ya fueran en infusiones o como apósitos. Existen registros de estos usos en India, China (Pan et al. 2014) y en México precolombino, este conocimiento sentó las bases de la farmacia moderna.

En nuestro país, contamos con un acervo de alrededor de 3,500 especies de plantas con aplicaciones en la salud, las cuales se encuentran catalogadas y registradas en el IMSS (Aguilar et al. 1994). Conforme la humanidad ha madurado y refinado sus conocimientos de las ciencias naturales, se ha pasado del conocimiento empírico al conocimiento científico, donde se han estandarizado los métodos y tecnologías para extraer los compuestos con actividad biológica también llamados compuestos bioactivos, para formular y dosificarlos de manera homogénea, lo que asegura que los productos finales tengan la misma cantidad del

compuesto activo, resultando la mayoría de las veces con mejores efectos al paso del tiempo. Los componentes bioactivos extraídos de las plantas, como alcaloides, compuestos fenólicos, terpenoides, entre muchos otros, son parte de la herbolaria tradicional que asociada a la transmisión del conocimiento y la comunicación verbal han llegado hasta nuestros días (Wojakoska et al. 2013).

México es el segundo país a nivel mundial que posee el registro más extenso de plantas medicinales, sólo precedido por China; de manera tradicional, la población nacional hace uso de estas plantas inclusive en alimentos (Estrada-Castillón et al., 2012); sin embargo, de las aproximadamente 3,000 a 4,500 especies de plantas medicinales registradas en el Herbario del IMSS, solamente se ha hecho análisis farmacológico de alrededor del 5% (Aguilar et al., 1994). El escaso avance en el análisis de los compuestos bioactivos derivados de las plantas medicinales nacionales es una ventana de oportunidad para quienes se dedican a la bio-prospección de compuestos bioactivos. Ampliar los proyectos enfocados en esta área proyectará la herbolaria nacional y dará pie a que México incremente su farmacia nativa impactando en la generación de fármacos de origen natural y contribuyendo a la soberanía farmacológica.

### **Compuestos bioactivos de plantas empleados en la farmacéutica**

Los compuestos bioactivos derivados de las plantas, incluyendo compuestos originales sin modificaciones, los sintéticos o semisintéticos comprenden alrededor del 50% de los medicamentos que se han estudiado y usado entre 1981 y 2010. Esto incluye compuestos empleados como tratamiento contra cáncer, antivirales, en neurobiología y en el tratamiento de enfermedades metabólicas, como la diabetes (Gurnani et al., 2014). Todos estos fármacos de origen natural se han caracterizado a fondo, incluyendo técnicas de biología molecular, resonancia magnética, cristalografía de rayos X, diferentes tipos de cromatografía y espectroscopía (Mushtaq et al., 2018). Aún con estas caracterizaciones fisicoquímicas, algunas de las formulaciones que llegan a fases clínicas, terminan retirándose de los ensayos porque presentan efectos tóxicos imprevistos; de lo anterior resalta la necesidad de optimizar las estrategias de caracterización de los compuestos bioactivos, ya sean originales, sintéticos o semisintéticos, incluyendo el análisis "in silico" para predecir el sitio donde se unen los compuestos bioactivos y simular posibles vías de acción dentro de las células; además, de aplicar pruebas preclínicas en modelos validados para sustentar los resultados, y favorecer que los fármacos diseñados basados en compuestos bioactivos logren la aprobación de uso en humanos.(Figura 3)

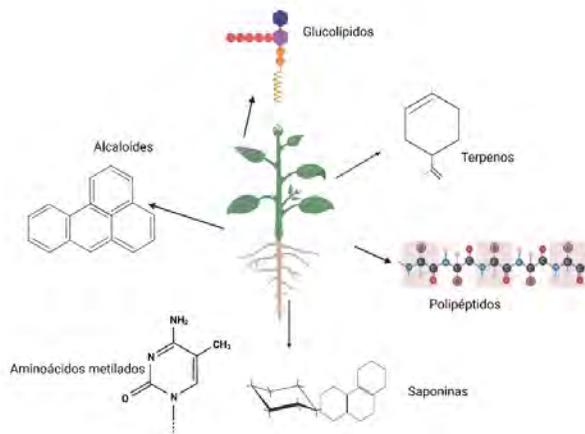


Figura 3. Representación de los compuestos bioactivos más comunes aislados de plantas con aplicaciones en la salud humana. Created with BioRender.com

### Perspectivas en la búsqueda de nuevos fármacos derivados de plantas

Para optimizar la búsqueda de compuestos bioactivos derivados de las plantas con aplicación en salud humana, es necesario contar con mayor infraestructura en las universidades y centros de investigación que permita competir con empresas transnacionales o universidades internacionales. Un ejemplo, es la implementación de herramientas de tamizaje rápido automatizado o “High-throughput screening” (Figura 4), donde se puedan evaluar in vitro diversos metabolitos (proteínas, péptidos, terpenos, terpenoides, alcaloides, entre otros), en diferentes modelos de enfermedades, procesando miles de compuestos en menos de 24 horas, optimizando recursos y acelerando el tiempo de transición entre las pruebas in vitro, las pruebas preclínicas y clínicas.

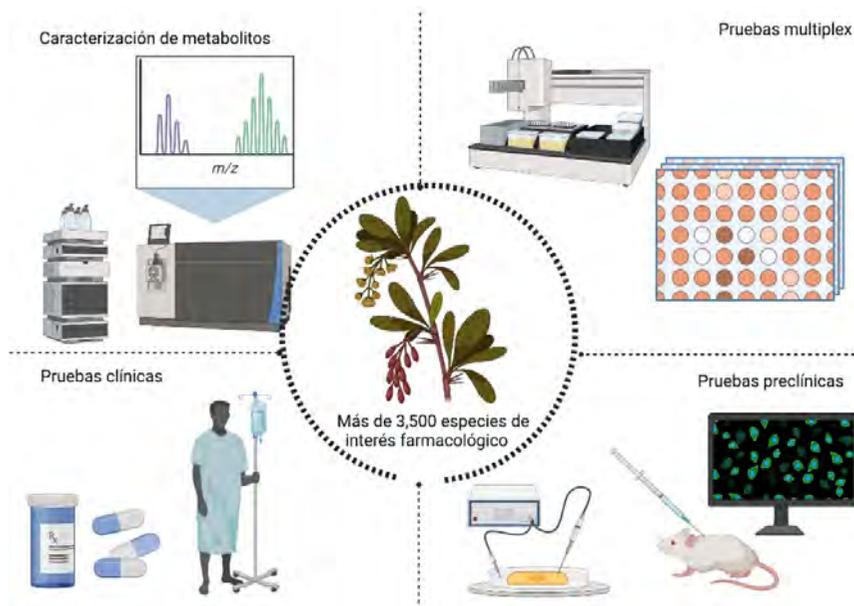


Figura 4. Tamizaje de alto rendimiento “High-Throughput screening”, pruebas preclínicas y clínicas. Las tecnologías de tamizaje de alto rendimiento aceleran la validación de compuestos bioactivos de las plantas. Created with BioRender.com

De esta manera, la investigación enfocada en la búsqueda de compuestos bioactivos de plantas permitirá a México generar, por una parte, un catálogo extenso o “dossier” de compuestos bioactivos susceptibles de protección de propiedad intelectual, y promoverá la autonomía en investigación de biofarmacia derivada de plantas nativas, generando un beneficio científico a la nación y a su vez, instaurando modelos de protección-explotación de especies nativas de plantas de forma sustentable. De la misma manera, se debe fomentar un crecimiento socioeconómico de las regiones donde crecen las plantas, ayudando así a comunidades locales a generar empleos asociados a la protección de la biodiversidad, la generación de microempresas comunitarias donde se cultiven y se extraigan en crudo los compuestos para que sean comercializados con empresas farmacéuticas donde se refinan los extractos y se formulen fármacos, por lo tanto, la economía circular debe ser apoyada e implementada por el gobierno siempre en apoyo y respeto de las comunidades.

La situación epidémica actual evidencia la necesidad de instaurar estrategias más eficientes de tamizaje de compuestos bioactivos derivados de plantas, para enfrentar de forma rápida, eficiente y confiable una pandemia como el COVID-19, donde compuestos derivados de plantas podrían servir de terapéuticos o incluso preventivos ante la infección por SARS-CoV-2 o cualquier otro agente infeccioso de índole pandémico, haciendo un frente común entre la comunidad científica, gobierno y sociedad.

## **Conclusión**

El uso de las plantas para la obtención de fármacos y mejorar la salud tanto del ser humano como de los animales es un tema de gran relevancia que seguirá vigente y aportando, ya que debido a las situaciones de enfermedades emergentes necesitamos y necesitaremos obtener mayor información de especies de plantas que nos lleven a la obtención de metabolitos bioactivos que aporten a nuestra salud. El ejemplo más reciente del aumento en el interés sobre plantas medicinales en los últimos años es su uso medicinal a raíz de la pandemia por el COVID-19.

## Referencias

- Avello, M., & Cisternas, I. (2019). Fitoterapia, sus orígenes, características y situación en Chile. *Revista Médica de Chile*, 138(10), 1288–1293.
- Huaccho Rojas, J., Balladares, A., Yanac Tellería, W., Rodríguez, C. L., & Villar López, M. (2020). Revisión del efecto antiviral e inmunomodulador de plantas Medicinales a propósito de la pandemia COVID-19. *Arch. Venez. Farmacol. Ter.*
- Jamshidi-Kia, F., Lorigooini, Z., & Amini-Khoei, H. (2018). Medicinal plants: Past history and future perspective. In *Journal of HerbMed Pharmacology* (Vol. 7, Issue 1). <https://doi.org/10.15171/jhp.2018.01>
- Lagarriga, I. (2000). Medicina Tradicional En Mexico. In *Deas-iah*.
- Martínez Aguilar, G., & Arellanes Cancino, N. (2019). El Esquema Legal de Protección sui generis de los Conocimientos Tradicionales Asociados a la Medicina Tradicional en México. *Revista de El Colegio de San Luis*, 9(20). <https://doi.org/10.21696/rcsl9202019992>
- Plants and people: Our shared history and future | Enhanced Reader. (n.d.).
- The Cultural history of plants. (2005). *Choice Reviews Online*, 42(09). <https://doi.org/10.5860/choice.42-5264>
- Esposito, G., Pesce, M., Seguella, L., Sanseverino, W., Lu, J., Corpetti, C., & Sarnelli, G. (2020). The potential of cannabidiol in the COVID-19 pandemic. *British Journal of Pharmacology*, 177(21), 4967–4970. <https://doi.org/10.1111/bph.15157>
- Sangiovanni, E., & Dell'Agli, M. (2020). Special issue: Anti-inflammatory activity of plant polyphenols. *Biomedicines*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/biomedicines8030064>
- Asif, M., Saleem, M., Saadullah, M., Yaseen, H. S., & Al Zarzour, R. (2020). COVID-19 and therapy with essential oils having antiviral, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties. *Inflammopharmacology*, 28(5), 1153–1161. <https://doi.org/10.1007/s10787-020-00744-0>
- Shinmyo, A., & Kato, K. (2010). Molecular farming: Production of drugs and vaccines in higher plants. *Journal of Antibiotics*, 63(8), 431–433. <https://doi.org/10.1038/ja.2010.63>
- Sáenz, D. (2004). Medicamentos, plantas medicinales y productos naturales. *Medicina*, 16, 13–20.
- Escandón-Rivera, S. M., Mata, R., & Andrade-Cetto, A. (2020). Molecules isolated from Mexican hypoglycemic plants: A review. *Molecules*, 25(18), 1–33. <https://doi.org/10.3390/molecules25184145>
- Sawa, A., & Sedlak, T. W. (2016). Oxidative stress and inflammation in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 176(1), 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2016.06.014>
- Nicastro, H. L., Ross, S. A., & Milner, J. A. (2015). Garlic and onions: Their cancer prevention properties. *Cancer Prevention Research*, 8(3), 181–189. <https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-14-0172>
- Food, P., & Health, H. (2020). *Plant Food, Nutrition, and Human Health*. 12–16.
- Yang, L., Wen, K. S., Ruan, X., Zhao, Y. X., Wei, F., & Wang, Q. (2018). Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23(4), 1–26. <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>
- Desborough, M. J. R., & Keeling, D. M. (2017). The aspirin story – from willow to wonder drug. *British Journal of Haematology*, 177(5), 674–683. <https://doi.org/10.1111/bjh.14520>
- Janeras, A. G. (1998). El buen uso de las plantas medicinales. *Medicina Clinica*, 110(10), 399.
- Whayne, T. F. (2018). Clinical Use of Digitalis: A State of the Art Review. *American Journal of Cardiovas-*

- cular Drugs, 18(6), 427–440. <https://doi.org/10.1007/s40256-018-0292-1>
- Pan, S. Y., Litscher, G., Gao, S. H., Zhou, S. F., Yu, Z. L., Chen, H. Q., Zhang, S. F., Tang, M. K., Sun, J. N., & Ko, K. M. (2014). Historical perspective of traditional indigenous medical practices: the current renaissance and conservation of herbal resources. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 2014, 525340. <https://doi.org/10.1155/2014/525340>
- Aguilar, A. J. R., Camacho, S., Chino, P., Jacques & López, M. E. (1994). Herbario Medicinal del Instituto Mexicano del Seguro Social. IMSS pp. 3-6
- Wojakowska, A., Piasecka, A., García-López, P. M., Zamora-Natera, F., Krajewski, P., Marczak, Ł., Kachlicki, P., & Stobiecki, M. (2013). Structural analysis and profiling of phenolic secondary metabolites of Mexican lupine species using LC-MS techniques. *Phytochemistry*, 92, 71–86. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2013.04.006>
- Estrada-Castillón, E., Soto-Mata, B. E., Garza-López, M., Villarreal-Quintanilla, J. Á., Jiménez-Pérez, J., Pando-Moreno, M., Sánchez-Salas, J., Scott-Morales, L., & Cotera-Correa, M. (2012). Medicinal plants in the southern region of the State of Nuevo León, México. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 8, 45. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-8-45>
- Gurnani N, Mehta D, Gupta M, Mehta BK. Natural products: Source of potential drugs. *Afr J Basic Appl Sci*. 2014;6: 171–186
- Mushtaq, S., Abbasi, B. H., Uzair, B., & Abbasi, R. (2018). Natural products as reservoirs of novel therapeutic agents. *EXCLI journal*, 17, 420–451. <https://doi.org/10.17179/excli2018-1174>



## Capítulo 8

### Las plantas como aliados de belleza: Uso de plantas en cosmeceútica

Rocío Meza-Gordillo<sup>1</sup>, Teresa Ayora-Talavera<sup>2\*</sup>, Daniel Castañeda-Valbuena<sup>1,2</sup>, Neith Pacheco-López<sup>2</sup>, Juan Carlos Cuevas-Bernardino<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carretera Panamericana km 1080, CP 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco A.C., Subsede Sureste

<sup>3</sup>CONACYT/Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco A.C., Subsede Sureste

\*autor por correspondencia: tayora@ciatej-mx

**Palabras Clave:** Cosmeceútica, compuestos bioactivos, plantas.

### Introducción

Una gran variedad de compuestos extraídos de plantas se utilizan como ingredientes para productos cosméticos, hidratantes etc; estos compuestos generalmente aportan beneficios a la salud debido a que poseen actividades comprobadas que mejoran la piel, o aportan algún otro beneficio además del cosmético; ahí es donde tiene su campo de acción la cosmeceútica.

Actualmente conocemos una gran variedad de plantas con actividades antioxidantes, antiinflamatorias, calmantes, inmunomoduladoras, queratolíticas y antimicrobianas, entre otras. Algo importante que debemos mencionar es que los productos cosmeceúticos deben ser desarrollados al igual que probados antes de salir al mercado para que los consumidores obtengan el beneficio adecuado y el producto sea seguro, ya que debemos saber y tomar en cuenta que no por contener un ingrediente natural o que proviene de plantas puede ser inocuo. Se requiere de estudios y pruebas para determinar la concentración benéfica y tomar en cuenta las afecciones previas de la persona que desea utilizarlo. En este capítulo mencionamos algunas especies de plantas que son el claro ejemplo de ingredientes utilizados en cosmeceútica y por qué.

### Cosmeceútica y la búsqueda de la piel perfecta

La constante búsqueda para tener una piel saludable y perfecta forma parte de la historia de la humanidad. Los sumerios, asirios, babilonios, egipcios, griegos, romanos, judíos, árabes, japoneses e incluso las civilizaciones precolombinas en América (González Minero & Bravo Díaz, 2017) usaban ungüentos, lociones y mascarillas para tener la piel libre de manchas, arrugas, im-

perfecciones, cicatrices de guerra y evitar la vergüenza de no tenerla perfecta. Uno de los casos más sonados en la historia es la que cuenta que Cleopatra se bañaba en leche de burra para mantener su piel joven y bella.

A lo largo de la historia de la humanidad se han empleado plantas, sales minerales, grasas animales y vegetales, e incluso arsénico y plomo para combatir las imperfecciones, mantener una piel bella y blanquearse la cara a través de su aplicación tópica o para embellecer el cabello.

A todos estos productos que se utilizan con fines de corregir imperfecciones o mantener la piel bella y joven se les conoce como cosméticos, y de acuerdo con el diccionario de la lengua española, se definen como “productos que se utilizan para la higiene o belleza del cuerpo, especialmente del rostro”. Entonces surge la pregunta, ¿qué es un cosmeceútico? Los cosmeceúticos se definen como productos de aplicación tópica que no son meramente cosméticos, ya que tienen la capacidad de alterar la estructura y fisiología de la piel y el cabello, pero no se consideran medicamentos ya que no se someten a las mismas pruebas rigurosas (Cavinato, 2019), es decir, el término cosmeceútico deriva de la intersección entre productos farmacéuticos y cosméticos y no se requiere de una prescripción médica para su uso. Los componentes activos que se utilizan en su elaboración pueden ser obtenidos a partir de plantas (Figura 1) o de sus diferentes partes, lo que convierte a los cosmeceúticos en elementos para la belleza más naturales. En el mercado existen varios de estos productos que se emplean para el acné, los trastornos pigmentarios, el envejecimiento, la inflamación de la piel, la formación de arrugas y cicatrices, sólo por nombrar solo algunos.

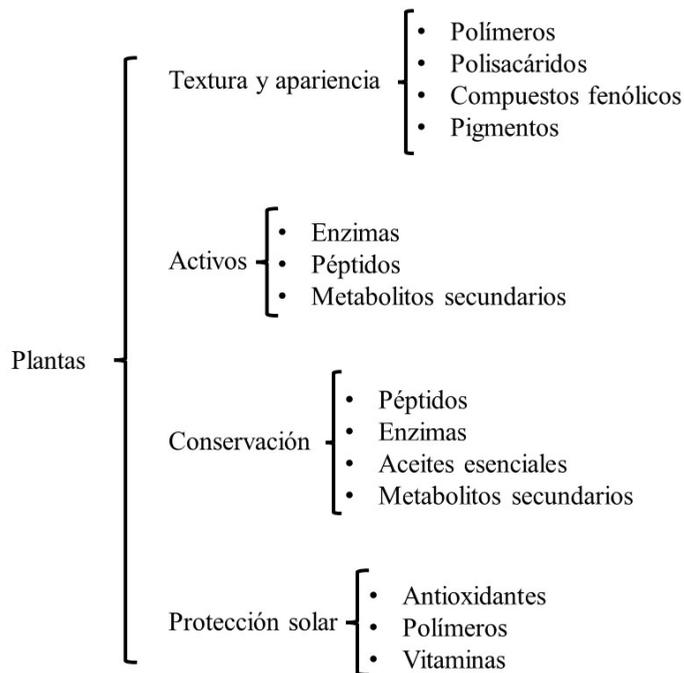


Figura 1. Diferentes compuestos obtenidos de las plantas y su actividad benéfica como cosmeceútica (Adaptado de Faccio, 2020).

## Las plantas en la salud de la piel

### 1 Sábila y albaca

Con el avance de la investigación sobre los beneficios de los productos naturales, la industria cosmética utiliza de manera más frecuente, plantas medicinales para la formulación de productos utilizados en el cuidado de la piel. Tienen especial atención la sábila (*Aloe vera*) y la albaca (*Ocimum basilicum*), especialmente cuando se trata de productos que además de favorecer la belleza de la piel, contienen compuestos que mejoran el estado de salud de este órgano (Chaudhuri, Aqil, & Qadir, 2020).

Estas plantas son utilizadas porque presentan diferentes compuestos responsables de los cambios en la apariencia física y de la actividad terapéutica. Algunos de estos son flavonoides, alcaloides, aceites esenciales, polisacáridos, vitaminas y algunos minerales (Mishra & Mishra, 2017).

En el caso de *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller), originaria del Suroeste de la Península Arábiga, se utiliza el parénquima de las hojas, comúnmente conocido como pulpa o gel, que es un polisacárido libre de almidón de nombre acemanano, el cual reduce el daño en la piel debido a la radiación (Hui, 2013). El gel de *Aloe* elimina los radicales hidroxilo y previene de la supresión de las enzimas superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa, generando una actividad antioxidante, además de actuar como reflejante de la radiación solar UV (Devi & Madhusudan Rao, 2005).

La inflamación es una condición fisiológica que ocurre ya sea por una infección microbiana o por la liberación de mediadores inflamatorios, por lo que es considerada como un mecanismo de defensa del cuerpo. El gel de *Aloe vera* contiene dos malos glucanos llamados veracilglucano B y veracilglucano C, que tienen actividad antiinflamatoria y son polisacáridos solubles en agua (Hui, 2013). Además de estos compuestos, contiene fitoquímicos como lupeol, campesterol,  $\beta$ -sitosterol y C-glucosilcromona, que presentan actividad antiinflamatoria mediante la inhibición de la vía COX y reduciendo la concentración de prostaglandina E2 (Devi & Madhusudan Rao, 2005).

*Aloe vera* es considerado un agente que mejora la apariencia de la piel, debido a que contiene mucopolisacáridos que se unen con la humedad interna de la piel, aminoácidos que suavizan la piel y zinc que actúa como astringente, cerrando los poros y restringiendo la liberación de agua. Los acemananos presentes en el gel, estimulan a los fibroblastos, resultando en la secreción de colágeno y elastina, los cuales aumentan la flexibilidad de la piel (Cho et al., 2009; Kanlayavattanakul & Lourith, 2018).

Por su parte, la albaca (*Ocimum basilicum* L) es nativa de Asia tropical, África, América y

Europa; crece en temperaturas cálidas por lo que es intolerante a temperaturas de congelamiento. Los compuestos fitoquímicos presentes principalmente son el ácido rosmarínico y el ácido caféico (Kintzios, Makri, Panagiotopoulos, & Scapeti, 2003) y presentan actividad antioxidante, además de actuar como atrapadores de sustancias reactivas al oxígeno (ROS; por sus siglas en inglés) (Marwat et al., 2011); razones por las cuales, los extractos acuosos de esta planta son muy utilizados para la formulación de productos para el cuidado de la piel. Se ha reportado que las antocianinas presentes en la albaca, tienen efecto inhibitorio de la enzima 5-alfa reductasa, por lo que es utilizada para la preparación de productos que evitan la caída del cabello (Kumar, Chaiyasut, Rungseevijitprapa, & Suttajit, 2011).

Por último, la creciente industria de productos para el cuidado de la piel incluye a la sábila y a la albaca debido a sus diversas propiedades terapéuticas y el probado beneficio que su uso genera a la piel.

## 2 Rosa

Las rosas (*Rosa sp*) son un grupo de cerca de 200 especies y más de 18000 de plantas pertenecientes a la familia Rosaceae y suelen ser plantas para uso ornamental (Boskabady, Shafei, Saberi, & Amini, 2011). A lo largo de la historia, las rosas también han sido consideradas como un material vegetal valioso debido a que en sus pétalos, pseudo-frutos y aquenios se pueden encontrar compuestos con propiedades biológicas, como polifenoles, vitaminas (B1, B2, B9, C, K y E), carotenoides y tocoferoles (Milala et al., 2021).

En el área de la cosmeceútica, el uso de extractos o compuestos obtenidos de las especies del género *Rosa* se ha fortalecido en la elaboración de cremas y aceites, las cuales han demostrado científicamente presentar efectos benéficos para tratar la osteoartritis y la artritis reumatoide (Cheng et al., 2016). Adicionalmente en los mercados de productos cosmeceúticos se encuentran productos a base de extractos de rosa como, cremas anti-edad, antiarrugas, anti-várices, aceite de rosas, jabones faciales y agua de rosas para hidratar la piel; demostrando esta gran gama de productos que las rosas representan un papel importante para la elaboración de productos cosmeceúticos.

## 3 Aguacate

El aguacate (*Persea Americana*) es una especie vegetal perteneciente a la familia Lauraceae y cuya importancia económica gira en torno al fruto el cual es consumido a nivel mundial tanto por su textura y agradable sabor (Soledad et al., 2021), como por presentar propiedades antibacterianas, antifúngicas, hipotensivas, antiinflamatorias y potenciadoras del sistema inmunológico (Monika & Geetha, 2015; Yasir, Das, & Kharya, 2010). Gran parte de estas propiedades

presentes en el aguacate (fruto y semilla) se le atribuyen al aceite, ya que en este se encuentra una gran parte de los compuestos bioactivos como, los ácidos grasos, carotenoides, clorofila y tocoferoles entre otros (Cervantes-Paz & Yahia, 2021; Rodriguez, Salangad, Almeda, Reyes, & Salamanez, 2019).

Todas estas propiedades le han conferido a lo largo del tiempo a la planta de aguacate diferentes aplicaciones medicinales, como tratamiento de la hipertensión, las diarreas, disentería, dolor de muelas, el tratamiento y embellecimiento de la piel (Pamplora & Roger, 1999). Los extractos de aguacate han sido empleados en forma de ungüento y también para tratar erupciones cutáneas (Ranade & Thiagarajan, 2015). Adicionalmente, se ha demostrado que los extractos de hojas y semillas presentan propiedades de interés medicinal particularmente como antibióticos (Lahav & Whiley, 2002).

Estas características han propiciado un crecimiento vertiginoso del uso del aguacate y en especial de la semilla dentro de la industria cosmética, en específico en el área de la cosmecéutica, así lo demuestran una gran cantidad de productos como cremas con inclusión de aceite de aguacate y alto contenido de vitamina B12 que presentó potencial como terapia tópica a largo plazo frente a la psoriasis (Stücker, Memmel, Hoffmann, Hartung, & Altmeyer, 2001); un jabón líquido estable en condiciones de almacenamiento (Hennessey-Ramos, Murillo-Arango, & Guayabo, 2019); dos cremas preparadas a partir de emulsiones aceite/agua y agua/aceite empleando aceite de aguacate que demostraron tener un efecto de restauración de la barrera cutánea que a su vez mejoraba la hidratación de la piel de los voluntarios tratados (Moldovan, Ionuț, & Bogdan, 2021); una crema elaborada con extracto de azafrán y aceite de aguacate y de uso tópico presentó resultados prometedores como tratamiento eficaz y seguro para el rejuvenecimiento de la piel del rostro (Naeimifar et al., 2020); un acondicionador altamente estructurado para uso capilar sustituyendo los aceites minerales convencionalmente empleados por aceite de aguacate, el cual fue altamente aceptado por los consumidores (Loch et al., 2020).

## 4 Caléndula

La caléndula (*Calendula officinalis* Linn.) pertenece a la familia Asteraceae. Es una planta herbácea con flores de color amarillo y naranja, su composición fitoquímica depende del lugar de origen y las condiciones de cultivo, pero en su mayoría se destacan los compuestos fenólicos, esteroides, terpenoides, esteroles, tocoferoles, quinonas y carotenos (Chitrakar, Zhang, & Bhandari, 2019). Estos compuestos fitoquímicos brindan a los extractos de caléndula propiedades biológicas como las capacidades antibacteriana, angiogénico, antiinflamatoria, antifúngica y antioxidante (Gilca, Tiplica, & Salavastru, 2018; Rosenthal, Israilevich, & Moy, 2019), la cuales le han conferido a esta planta el carácter de “planta medicinal” para el tratamiento de diferentes dolencias a lo largo de la historia.

El primer registro de uso de la caléndula como remedio data del siglo XII, cuando se usaba para el tratamiento de malestares digestivos y lesiones cutáneas (Leach, 2008). También existen registros en los que se menciona el uso de bálsamos, cremas antisépticas y antiinflamatorios suministrados a los heridos en combate durante la Guerra Civil estadounidense y la Primera Guerra Mundial (World Health Organization, 2002). Hoy día, la caléndula es usada para el tratamiento de dolencias como las inflamaciones de órganos internos, de las mucosas oral y faríngea y la aparición de úlceras gastrointestinales (Jarić et al., 2018). Sin embargo, la curación de heridas cutáneas representa el uso mayoritario de esta planta (Nicolaus et al., 2017).

El amplio espectro de usos para el tratamiento de heridas en la piel de la caléndula le ha conferido a esta planta un espacio dentro de la línea emergente de productos cosmecéuticos, los cuales se administran en concentraciones suficientes sobre la piel o tejido donde los compuestos biológicamente activos presentes en el producto, se supone que tienen un impacto positivo pero no efectos terapéuticos médicos (Cavinato, 2019; Husein el Hadmed & Castillo Fernandez, 2016).

Dentro de este grupo de productos elaborados a partir de caléndula se destacan los que tienen como finalidad la cicatrización de heridas, la reducción de la inflamación, y la promoción del rejuvenecimiento celular, así como productos empleados para suavizar la piel (Lohani, Mishra, & Verma, 2017). Ejemplo de los beneficios mostrados por los productos cosmecéuticos a base de caléndula, fueron demostrados por Jadoon et al., (2015), quienes al emplear una crema elaborada con agua, aceite y extracto de caléndula reportaron un estímulo en la elasticidad y tensión de la piel, lo que derivó en un retardo del proceso de envejecimiento; adicionalmente esta crema demostró prevenir el envejecimiento prematuro mejorando el nivel de hidratación de la piel, lo cual fue demostrado al encontrarse reducidos valores de pérdida de agua transepidérmica, aspecto que propicia el correcto metabolismo cutáneo (Akhtar, Zaman, Khan, Amir, & Ebrahimzadeh, 2011). Otros beneficios reportados tras el uso de crema con extracto de caléndula fueron el favorecimiento de la reducción del contenido de melanina en la piel, así como, la disminución del contenido de sebo cutáneo (Akhtar, Shahiq-uz-zaman, et al., 2011).

Debido a lo anteriormente mencionado, hoy en el mercado cosmecéutico se encuentran productos elaborados a base de caléndula que se emplean como cosméticos para el cuidado de la piel (Charles Dorni, Amalraj, Gopi, Varma, & Anjana, 2017), dentro de los cuales se destacan los aceites, bálsamos, cremas, dentífricos, jabones, leches corporales, lociones, pomadas y protectores solares entre otros.

## 5 Lavanda

La lavanda (*Lavandula angustifolia*) es un arbusto perenne de la familia Lamiaceae, originario del sur de Europa cuyo exquisito aroma es empleado comúnmente en la elaboración de

jabones, perfumes, cosméticos y medicinas (Cavanagh & Wilkinson, 2002). Es precisamente el particular y agradable aroma de esta planta el que propició su uso por parte de las culturas griega y romana, cuando se empleaba para el lavado de la ropa.

La lavanda se destaca por ser rica en compuestos bioactivos como ácidos grasos, algunas cumarinas, ciertos flavonoides, lactona, y diferentes terpenos (Bajalan, Mohammadi, Alaei, & Pirbalouti, 2016; Haig et al., 2009; Jullien et al., 2014; Lesage-Meessen, Bou, Sigoillot, Faulds, & Lomascolo, 2015; Topçu et al., 2007). Esta riqueza de biocompuestos le confieren a la lavanda propiedades biotecnológicas dentro de las cuales se destacan la capacidad antimicrobiana, antioxidantes, fungistáticas, antivirales y en algunos casos alguna citotoxicidad (Tang et al., 2017), todo lo cual es de interés para diferentes industrias como la farmacéutica, medicinal y alimentaria. Particularmente las propiedades medicinales de esta planta son atribuidas en particular a los compuestos linalol y acetato de linalilo a los que se les han identificado efectos sedantes y marcadas acciones narcóticas sobre los pacientes (Koulivand, Khaleghi Ghadiri, & Gorji, 2013).

El linalol y el acetato de linalilo pueden ser altamente absorbidos en el torrente sanguíneo por medio de dos vías, una mediante la inhalación (aromaterapia) y la otra, durante la aplicación de ungüentos, aceites, cremas, pomadas, bálsamos en la piel. De hecho, terapias compuestas de masajes y aromaterapia empleado aceite esencial de lavanda, ha demostrado tener efectos benéficos para pacientes con enfermedades como la diabetes (Rivaz, Rahpeima, Khademian, & Dabbaghmanesh, 2021), enfermedades de riñón (Mohammadpourhodki et al., 2021), así como en la reducción del dolor en niños con quemaduras severas (Ardahan Akgül et al., 2021) entre muchas otras.

En cuanto al cuidado de la piel, los productos como cremas y lociones con inclusión de extractos de lavanda han demostrado tener un gran campo de aplicación en la curación de cicatrices (Abedian, Abedi, Jahanfar, Iravani, & Zahedian, 2020), puesto que los componentes activos de esta planta promueven la formación de tejido de granulación, la remodelación de tejido cutáneo y la contracción de las heridas (Mori, Kawanami, Kawahata, & Aoki, 2016). Adicionalmente, la capacidad antioxidante de los extractos de lavanda también ha sido estudiada como tratamiento para reducir el envejecimiento de la piel (Carrasco, Martinez-Gutierrez, Tomas, & Tudela, 2015), mientras que las propiedades sedantes, antisépticas, antiinflamatorias y analgésicas, se han usado para tratar la dermatitis, los eczemas y la psoriasis (Fascella, D'Angiolillo, Ruberto, & Napoli, 2020).

Las propiedades demostradas por los extractos de lavanda han conllevado a que su aceite esencial sea ampliamente empleado en la elaboración de una gran gama de productos cosmecéuticos altamente comercializados como jabones, champús, lociones, espumantes de baño, aceites esenciales, cremas para manos, cuerpo y rostro, leches corporales, geles desinfectantes de manos y bálsamos entre otros.

## 6 Manzanilla

La manzanilla es una planta que forma parte de la familia de las asteráceas y desde la antigüedad ha sido conocida por sus propiedades medicinales ampliamente utilizadas en todo el mundo, tales como: capacidad antiinflamatoria, propiedades gastrointestinales, capacidad antimicrobiana y antiséptica, así como para reducir el dolor reumático (Charles Dorni et al., 2017).

La manzanilla pertenece al género *Matricaria* que comprende diversas plantas con una gran cantidad de metabolitos secundarios de variada naturaleza química (Sharifi-Rad et al., 2018). Los extractos y aceites esenciales de esta planta han sido avalados por diversas regulaciones internacionales como la administración de alimentos y fármacos de Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) y el centro de seguridad alimentaria y nutrición aplicada (CF-SAN, por sus siglas en inglés), lo que le permite formar parte de los ingredientes de fragancias, productos para el cuidado de la piel, jabones líquidos, cremas, etc. La manzanilla alemana y la manzanilla romana como comúnmente se conocen, son las especies de manzanillas más utilizadas en la industria cosmética para el desarrollo de formulaciones de cuidado (Avonto, Rua, Lasonkar, Chittiboyina, & Khan, 2017).

Dentro de las principales partes de la planta que se utilizan se encuentran las flores y hojas que contienen ácidos fenólicos y compuestos volátiles y de las cuales se pueden obtener aceites esenciales o extractos, que son mezclados en diversas formulaciones de cremas, geles, tónicos, etc. (Charles Dorni et al., 2017).

Generalmente los aceites esenciales de la manzanilla son los que se utilizan para aplicaciones tópicas debido a que cuenta con compuestos específicos como los sesquiterpenos, entre los que destacan el alfa bisabolol, beta-farneseno, chamazuleno y algunos espiroéteres como el monoterpeno linmoneno, beta-ocimeno y gama-terpineno; principalmente extraídos como aceites esenciales de las cabezas de las flores. Así mismo, sus extractos acuosos-alcohólicos principalmente contienen compuestos fenólicos como la apigenina, entre otros, y se han utilizado como agente antienvjecimiento para mejorar el cuidado de la piel en diversas formulaciones cosméticas, debido a la protección UV que presenta por el efecto antioxidante de estos y otros de sus compuestos.

Los aceites esenciales y extractos de manzanilla, también se ha utilizado en diversos productos para el cuidado de la piel como cremas, lociones corporales, tónicos, geles y hasta en toallitas húmedas para bebés, debido a que han demostrado ser seguros (Charles Dorni et al., 2017).

Los efectos calmantes de la manzanilla favorecen su utilización en la piel, ya que pueden ser utilizados en casos de acné severo en donde favorece la desinflamación de los granos y calma el malestar, también se ha utilizado en la reducción de eczema y en la habilidad de mejorar la cicatrización de heridas (Johnson & Heldreth, 2013).

## 7 Romero

El romero es una planta aromática que pertenece a la familia Lamiaceae, antes llamada Labiatae. Existen más de 20 diferentes variedades de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y se distinguen entre ellos mediante descriptores morfológicos como el cáliz, la corola, las dimensiones de la hoja, inflorescencias y la presencia de tricomas glandulares.

El romero se ha utilizado por cientos de años tanto por sus características culinarias como por sus propiedades medicinales, ya que tiene un aroma muy particular y posee beneficios a la salud que han sido científicamente comprobados (Ribeiro-Santos et al., 2015).

La actividad biológica de esta planta se encuentra atribuida principalmente a los compuestos fenólicos como el camonol, ácido carnósico, ácido rosmarínico y los constituyentes volátiles como el alfa-pineno, bomilacetatao, el kanfor y eucaliptol; estos últimos presente en los aceites esenciales de la planta proporcionan aromas placenteros, también cuentan con importantes compuestos del grupo de monoterpenos, sesquiterpenos, ésteres, cetonas, fenoles y alcoholes, además de presentar proteínas, fibra, vitaminas y minerales que en su conjunto ayudan en la prevención de enfermedades (Ribeiro-Santos et al., 2015).

Esta planta se puede utilizar en forma fresca, seca o como infusión, actualmente se utilizan los extractos en empaques, aromaterapia y tratamientos médicos y sus propiedades antiinflamatorias, diuréticas y antimicrobianas hacen posible su aplicación como cosmético y en el tratamiento de diversas enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer.

Entre los compuestos mayormente asociados a la actividad antibacteriana y antifúngica se encuentran el 1-8-cineole, kamfor, y alfa-pineno, así como el ácido carnósico, lo que le ha permitido ser usado en productos de limpieza facial y del cuerpo. Los compuestos fenólicos como el carnosol, ácido carnósico, ácido rosmarínico, rosmanol, metil carnosato, luteolina, ácido betulínico, mirceno y algunos otros flavonoides presentes en menores cantidades, contribuyen a la actividad antioxidante que lo hace un potente candidato en formulaciones cutáneas con efectos antienviejimiento (Ribeiro-Santos et al., 2015).

## 8 Jojoba

En los últimos años, el “consumismo verde” (amigables con el medio ambiente) y el resurgimiento del uso de productos naturales ha impulsado en gran medida el desarrollo de una amplia gama de productos (jabones, cremas corporales, pastas dentales, enjuagues bucales, desodorantes, lociones y champús) a base de plantas; especialmente en la industria de la belleza y el cuidado personal (Sharmeen, Mahomoodally, Zengin, & Maggi, 2021). En este grupo de plantas aliadas de la belleza podemos mencionar a la jojoba, ampliamente utilizada en investigación y desarrollo de nuevos productos para la industria cosmecéutica.

La planta de *Simmondsia chinensis* es mundialmente conocida como jojoba o popularmente como “oro del desierto” por el alto porcentaje de aceite que producen sus semillas (60%), dicha planta es nativa del desierto del norte de México (desierto de Sonora) y suroeste de Estados Unidos pero es ampliamente cultivada en zonas áridas y semiáridas del mundo (Chile, Egipto, Argentina, Israel, India, Sudáfrica, México y Estados Unidos). Esta especie es un arbusto de hojas perennes que pertenece a la familia Simmondsiaceae y como característica particular es extremadamente tolerante a diferentes condiciones ambientales, además por su alta popularidad, se calcula que hay aproximadamente en el mercado más de 300 productos a base de su aceite, principalmente en dos sectores: lubricantes y cosméticos (Agarwal, Arya, & Khan, 2018; Sánchez, Avhad, Marchetti, Martínez, & Aracil, 2016).

Cabe resaltar que en la industria cosmeceútica se requieren aceites con componentes particulares para que puedan ser utilizados de la mejor manera en la elaboración de productos de calidad para el cuidado de la piel y el cabello; entre esos compuestos deben estar presentes ácidos grasos como el linoleico, oleico, araquídico, 11-eicosenoico y palmítico, por lo que se ha reportado en diversos trabajos de investigación, en este sentido, el aceite de jojoba es uno de los mejores aceites para aplicaciones cosmeceúticas por sus altas concentraciones de estos compuestos y por sus características únicas muy similares al aceite natural de la piel humana; sin embargo estas características dependerán en gran medida de los factores geográficos y genéticos de la planta de jojoba (Agarwal et al., 2018; Lazare et al., 2021).

Por los grandes beneficios que se han reportado del aceite de jojoba, a menudo se incluye en productos para el cuidado de la piel (productos tópicos) para ayudar a disminuir el daño inducido por los rayos UV causantes del envejecimiento prematuro y las arrugas de la piel (Draeos, Gunt, & Levy, 2021), así como en productos tales como exfoliantes limpiadores, cremas limpiadoras, almohadillas limpiadoras, crema de afeitar, aceite de baño, aceite corporal, crema facial nutritiva, aceite facial, acondicionador para el cabello, aceite para el cabello, y desmaquillante (Gad et al., 2021).

Por todo lo anterior, cabe destacar que un reporte coloca a la jojoba en el cuarto lugar del grupo selecto de las 10 especies botánicas más usadas en productos cosméticos antiarrugas por su excelente contenido de compuestos benéficos tanto de ácidos grasos como de polifenoles (Ferreira, Magalhães, Oliveira, Sousa-Lobo, & Almeida, 2021).

## 9 Geranio

Los aceites esenciales son ampliamente incorporados dentro de productos modernos del cuidado de la piel por su compleja composición de elementos bioactivos, propiedades sensoriales (fuerte fragancia) y por la imagen publicitaria como productos naturales; por lo anterior, dichos materiales son excelentes candidatos en las formulaciones de productos cosmeceúticos

por sus importantes propiedades dermato-cosméticas tales como antiacné, antiarrugas, aclaradores de piel y protección solar (Sharmeen et al., 2021).

En este contexto, el geranio (*Pelargonium graveolens*) es una planta herbácea, perenne y aromática, la cual es apreciada altamente por su aceite esencial (dentro del grupo de los 20 aceites esenciales más importantes en el mundo) y como planta ornamental, lo cual la convierte en una importante fuente para la industria cosmeceútica por sus características particulares en su composición de monoterpenos oxigenados con altas cantidades de citronelol y geraniol; dichos compuestos le confieren notas medias al aceite esencial de geranio, esto se refiere a presentar olores tipo especias y florales (Androutsopoulou et al., 2021; Nehme et al., 2021; Sharmeen et al., 2021). Adicionalmente, el geranio (planta nativa de Sudáfrica) es una planta medicinal y aromática perteneciente a la familia Geraniaceae, cuyo aceite esencial es muy utilizado en cosmeceútica y aromaterapia por su maravilloso aroma estimulante, calmante y floral, además este género de plantas contiene más de 250 especies que se han utilizado desde tiempos ancestrales en la práctica de la medicina tradicional en todo el mundo (El Aanachi et al., 2020; Lohani et al., 2017; Świątek et al., 2021).

Se ha reportado que el aceite esencial extraído de hojas de geranio presenta importante actividad antioxidante y factor de protección solar de 6.45, indicando que dicho aceite esencial puede ser usado en las formulaciones de los protectores solares para prevenir las quemaduras solares causadas por la radiación ultra violeta solar en la piel (He et al., 2021).

## Conclusión

Las plantas son una de las mejores fuentes para la obtención de compuestos para la elaboración de los cosmeceúticos en beneficio de la salud de nuestra piel.

Finalmente, cabe indicar que la demanda de productos cosmeceúticos elaborados con ingredientes naturales está en constante crecimiento, lo que impulsa a los científicos a seguir investigando sobre los nuevos compuestos de origen vegetal que puedan cumplir las necesidades de mejorar la salud de nuestra piel.

## Referencias

- Abedian, S., Abedi, P., Jahanfar, S., Iravani, M., & Zahedian, M. (2020). The effect of Lavender on pain and healing of episiotomy: A systematic review. *Complementary Therapies in Medicine*, 53, 102510. <https://doi.org/10.1016/J.CTIM.2020.102510>
- Agarwal, S., Arya, D., & Khan, S. (2018). Comparative fatty acid and trace elemental analysis identified the best raw material of jojoba (*Simmondsia chinensis*) for commercial applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1), 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2018.04.003>
- Akhtar, N., Shahiq-uz-zaman, Khan, B. A., Haji, M., Khan, S., Ahmad, M., ... Rasul, A. (2011). Evaluation of various functional skin parameters using a topical cream of calendula officinalis extract. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(2), 199–206. <https://doi.org/10.5897/AJMR10.368>
- Akhtar, N., Zaman, S. U., Khan, B. A., Amir, M. N., & Ebrahimzadeh, M. A. (2011). Calendula extract: Effects on mechanical parameters of human skin. *Acta Poloniae Pharmaceutica - Drug Research*, 68(5), 693–701.
- Androutsopoulou, C., Christopoulou, S. D., Hahalis, P., Kotsalou, C., Lamari, F. N., & Vantarakis, A. (2021). Evaluation of essential oils and extracts of rose geranium and rose petals as natural preservatives in terms of toxicity, antimicrobial, and antiviral activity. *Pathogens*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/pathogens10040494>
- Ardahan Akgül, E., Karakul, A., Altın, A., Doğan, P., Hoşgör, M., & Oral, A. (2021). Effectiveness of lavender inhalation aromatherapy on pain level and vital signs in children with burns: a randomized controlled trial. *Complementary Therapies in Medicine*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2021.102758>
- Avonto, C., Rua, D., Lasonkar, P. B., Chittiboyina, A. G., & Khan, I. A. (2017). Identification of a compound isolated from German chamomile (*Matricaria chamomilla*) with dermal sensitization potential. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 318, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2017.01.009>
- Bajalan, I., Mohammadi, M., Alaei, M., & Pirbalouti, A. G. (2016). Total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of extracts from different populations of lavandin. *Industrial Crops and Products*, 87, 255–260. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.059>
- Boskabady, M. H., Shafei, M. N., Saberi, Z., & Amini, S. (2011). Pharmacological effects of *Rosa damascena*. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 14(4), 295–307. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2011.5018>
- Carrasco, A., Martinez-Gutierrez, R., Tomas, V., & Tudela, J. (2015). *Lavandula angustifolia* and *Lavandula latifolia* Essential Oils from Spain: Aromatic Profile and Bioactivities. *Planta Medica*, 82(1–2), 163–170. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1558095>
- Cavanagh, H. M. A., & Wilkinson, J. M. (2002). Biological activities of lavender essential oil. *Phytotherapy Research*, 16(4), 301–308. <https://doi.org/10.1002/ptr.1103>
- Cavinato, M. (2019). *Cosmetics and cosmeceuticals*. *Encyclopedia of Biomedical Gerontology*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.62150-5>
- Cervantes-Paz, B., & Yahia, E. M. (2021). Avocado oil: Production and market demand, bioactive components, implications in health, and tendencies and potential uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 4120–4158. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12784>
- Charles Dorni, A. I., Amalraj, A., Gopi, S., Varma, K., & Anjana, S. N. (2017). Novel cosmeceuticals from plants—An industry guided review. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 7(June 2016), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.05.003>
- Chaudhuri, A., Aqil, M., & Qadir, A. (2020). Herbal cosmeceuticals: New opportunities in cosmetology.

*Trends in Phytochemical Research*, 4(3), 117–142.

- Cheng, B. C. Y., Fu, X. Q., Guo, H., Li, T., Wu, Z. Z., Chan, K., & Yu, Z. L. (2016). The genus *Rosa* and arthritis: Overview on pharmacological perspectives. *Pharmacological Research*, 114, 219–234. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2016.10.029>
- Chitrakar, B., Zhang, M., & Bhandari, B. (2019). Edible flowers with the common name “marigold”: Their therapeutic values and processing. *Trends in Food Science and Technology*, 89(December 2018), 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.008>
- Cho, S., Lee, S., Lee, M. J., Lee, D. H., Won, C. H., Kim, S. M., & Chung, J. H. (2009). Dietary aloe vera supplementation improves facial wrinkles and elasticity and it increases the type I procollagen gene expression in human skin in vivo. *Annals of Dermatology*, 21(1), 6–11. <https://doi.org/10.5021/ad.2009.21.1.6>
- Devi, R., & Madhusudan Rao, Y. (2005). Cosmeceutical applications of Aloe gel. *Natural Products Radiance*, 4, 322–327.
- Draeos, Z. D., Gunt, H., & Levy, S. B. (2021). Nature-based botanical facial oil oxidative stress protection. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 20(2), 522–525. <https://doi.org/10.1111/jocd.13879>
- El Aanachi, S., Gali, L., Nacer, S. N., Bensouici, C., Dari, K., & Aassila, H. (2020). Phenolic contents and in vitro investigation of the antioxidant, enzyme inhibitory, photoprotective, and antimicrobial effects of the organic extracts of *Pelargonium graveolens* growing in Morocco. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 29(September), 101819. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101819>
- Faccio, G. (2020). Plant Complexity and Cosmetic Innovation. *IScience*, 23(8), 101358. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101358>
- Fascella, G., D’Angiolillo, F., Ruberto, G., & Napoli, E. (2020). Agronomic performance, essential oils and hydrodistillation wastewaters of *Lavandula angustifolia* grown on biochar-based substrates. *Industrial Crops and Products*, 154(February), 112733. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112733>
- Ferreira, M. S., Magalhães, M. C., Oliveira, R., Sousa-Lobo, J. M., & Almeida, I. F. (2021). Trends in the use of botanicals in anti-aging cosmetics. *Molecules*, 26(12), 1–18. <https://doi.org/10.3390/molecules26123584>
- Gad, H. A., Roberts, A., Hamzi, S. H., Gad, H. A., Touiss, I., Altyar, A. E., ... Ashour, M. L. (2021). Jojoba oil: An updated comprehensive review on chemistry, pharmaceutical uses, and toxicity. *Polymers*, 13(11), 1–22. <https://doi.org/10.3390/polym13111711>
- Gilca, M., Tiplica, G. S., & Salavastru, C. M. (2018). Traditional and ethnobotanical dermatology practices in Romania and other Eastern European countries. *Clinics in Dermatology*, 36(3), 338–352. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2018.03.008>
- González Minero, F. J., & Bravo Díaz, L. (2017). Historia y actualidad de productos para la piel, cosméticos y fragancias. Especialmente los derivados de las plantas. *Ars Pharmaceutica*, 58(1), 5–12. <https://doi.org/10.4321/S2340-98942017000100001>
- Haig, T. J., Haig, T. J., Seal, A. N., Pratley, J. E., An, M., & Wu, H. (2009). Lavender as a source of novel plant compounds for the development of a natural herbicide. *Journal of Chemical Ecology*, 35(9), 1129–1136. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9689-2>
- He, hailun, Li, anqi, Li, shiqin, Tang, jie, Li, li, & Xiong, lidan. (2021). Natural components in sunscreens: Topical formulations with sun protection factor (SPF). *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 134(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.111161>

- Hennessey-Ramos, L., Murillo-Arango, W., & Guayabo, G. T. (2019). Evaluation of a colorant and oil extracted from avocado waste as functional components of a liquid soap formulation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(2), 8855–8862. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n2.74573>
- Hui, L. (2013). Aloe Vera Review. *Iarc Monographs*, (1999), 37–71. Retrieved from file:///C:/Users/AL-WANR~1/AppData/Local/Temp/mono108-01.pdf
- Husein el Hadmed, H., & Castillo Fernandez, R. (2016). Cosmeceuticals: peptides , proteins , and growth factors. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 0, 1–6.
- Jadoon, S., Karim, S., Asad, M. H. H. Bin, Akram, M. R., Kalsoom Khan, A., Malik, A., ... Murtaza, G. (2015). Anti-aging potential of phytoextract loaded-pharmaceutical creams for human skin cell longevity. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2015(Figure 1). <https://doi.org/10.1155/2015/709628>
- Jarić, S., Kostić, O., Mataruga, Z., Pavlović, D., Pavlović, M., Mitrović, M., & Pavlović, P. (2018). Traditional wound-healing plants used in the Balkan region (Southeast Europe). *Journal of Ethnopharmacology*, 211, 311–328. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.09.018>
- Johnson, W., & Heldreth, B. (2013). *Safety Assessment of Chamomile Ingredients as Used in Cosmetics*. Washington, D.C.
- Jullien, F., Moja, S., Bony, A., Legrand, S., Petit, C., Benabdelkader, T., ... Magnard, J. L. (2014). Isolation and functional characterization of a  $\tau$ -cadinol synthase, a new sesquiterpene synthase from *Lavandula angustifolia*. *Plant Molecular Biology*, 84(1–2), 227–241. <https://doi.org/10.1007/s11103-013-0131-3>
- Kanlayavattanakul, M., & Lourith, N. (2018). Skin hyperpigmentation treatment using herbs: A review of clinical evidences. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, 20(2), 123–131. <https://doi.org/10.1080/14764172.2017.1368666>
- Kintzios, S., Makri, O., Panagiotopoulos, E., & Scapeti, M. (2003). In vitro rosmarinic acid accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Biotechnology Letters*, 25(5), 405–408. <https://doi.org/10.1023/A:1022402515263>
- Koulivand, P. H., Khaleghi Ghadiri, M., & Gorji, A. (2013). Lavender and the nervous system. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/681304>
- Kumar, T., Chaiyasut, C., Rungseevijitprapa, W., & Suttajit, M. (2011). Screening of steroid 5 $\alpha$ -reductase inhibitory activity and total phenolic content of Thai plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(7), 1265–1271.
- Lahav, E., & Whiley, A. W. (2002). Irrigation and mineral nutrition. In *The avocado: botany, production and uses* (p. 259). <https://doi.org/10.1079/9780851993577.0000>
- Lazare, S., Zipori, I., Cohen, Y., Haberman, A., Goldshtein, E., Ron, Y., ... Dag, A. (2021). Jojoba pruning: New practices to rejuvenate the plant, improve yield and reduce alternate bearing. *Scientia Horticulturae*, 277(September 2020), 109793. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109793>
- Leach, M. J. (2008). *Calendula officinalis* and Wound Healing: A Systematic Review. *Wounds*, 20, 236–243. Retrieved from <https://www.hmpglobelearningnetwork.com/site/wounds/article/9064>
- Lesage-Meessen, L., Bou, M., Sigoillot, J. C., Faulds, C. B., & Lomascolo, A. (2015). Essential oils and distilled straws of lavender and lavandin: a review of current use and potential application in white biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(8), 3375–3385. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6511-7>
- Loch, C. de O., Souza, P. do C., Frigieri, I., Isaac, V., Chiavacci, L. A., Oshiro Júnior, J. A., & Chiari-Andréo, B. G. (2020). Development and characterization of highly structured rinse-off conditioners containing vegetable oils. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 0(0), 1–8. <https://doi.org/10.1080/01932691.2020.1851247>

- Lohani, A., Mishra, A. K., & Verma, A. (2017). Cosmeceutical potential of geranium and calendula essential oil: Determination of antioxidant activity and in vitro sun protection factor. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 18(2), 550–557. <https://doi.org/10.1111/jocd.12789>
- Marwat, S. K., Fazal-Ur-Rehman, Khan, M. S., Ghulam, S., Anwar, N., Mustafa, G., & Usman, K. (2011). Phytochemical constituents and pharmacological activities of sweet Basil-*Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae). *Asian Journal of Chemistry*, 23(9), 3773–3782.
- Milala, J., Piekarska-Radzik, L., Sójka, M., Klewicki, R., Matysiak, B., & Klewicka, E. (2021). Rosa spp. Extracts as a Factor That Limits the Growth of *Staphylococcus* spp. Bacteria, a Food Contaminant. *Molecules*, 26, 4590. <https://doi.org/10.3390/molecules26154590>
- Mishra, V. K., & Mishra, N. (2017). Concept of Cosmeceuticals in Ayurveda for Skin , Beauty & Body care. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(1), 486–493. <https://doi.org/10.20959/wjpps20171-8418>
- Mohammadpourhodki, R., Sadeghnezhad, H., Ebrahimi, H., Basirinezhad, M. H., Maleki, M., & Bossola, M. (2021). The Effect of Aromatherapy Massage With Lavender and Citrus Aurantium Essential Oil on Quality of Life of Patients on Chronic Hemodialysis: A Parallel Randomized Clinical Trial Study. *Journal of Pain and Symptom Management*, 61(3), 456-463.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2020.08.032>
- Moldovan, M. L., Ionuț, I., & Bogdan, C. (2021). Cosmetic products containing natural based emollients for restoring impaired skin barrier: Formulation and in vivo evaluation. *Farmacia*, 69(1), 129–134. <https://doi.org/10.31925/farmacia.2021.1.17>
- Monika, P., & Geetha, A. (2015). The modulating effect of *Persea americana* fruit extract on the level of expression of fatty acid synthase complex, lipoprotein lipase, fibroblast growth factor-21 and leptin - A biochemical study in rats subjected to experimental hyperlipidemia and obesit. *Phytomedicine*, 22(10), 939–945. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2015.07.001>
- Mori, H. M., Kawanami, H., Kawahata, H., & Aoki, M. (2016). Wound healing potential of lavender oil by acceleration of granulation and wound contraction through induction of TGF- $\beta$  in a rat model. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1128-7>
- Naeimifar, A., Ahmad Nasrollahi, S., Samadi, A., Talari, R., Sajad Ale-nabi, S., Massoud Hossini, A., & Firooz, A. (2020). Preparation and evaluation of anti-wrinkle cream containing saffron extract and avocado oil. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(9), 2366–2373. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jocd.13284>
- Nehme, R., Andrés, S., Pereira, R. B., Jemaa, M. Ben, Bouhallab, S., Ceciliani, F., ... Abdennebi-najar, L. (2021). Essential oils in livestock: From health to food quality. *Antioxidants*, 10(2), 1–42. <https://doi.org/10.3390/antiox10020330>
- Nicolaus, C., Junghanns, S., Hartmann, A., Murillo, R., Ganzera, M., & Merfort, I. (2017). In vitro studies to evaluate the wound healing properties of *Calendula officinalis* extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, 196, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.006>
- Pamplora, G., & Roger, M. . (1999). Encyclopaedia of Medicinal Plants. In *Encyclopaedia of Medicinal Plants*. (pp. 719-720.).
- Ranade, S. S., & Thiagarajan, P. (2015). A Review on *Persea Americana* Mill. (Avocado)-Its Fruit and Oil.
- Ribeiro-Santos, R., Carvalho-Costa, D., Cavaleiro, C., Costa, H. S., Albuquerque, T. G., Castilho, M. C., ... Sanches-Silva, A. (2015). A novel insight on an ancient aromatic plant: The rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Trends in Food Science and Technology*, 45(2), 355–368. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.015>

- Rivaz, M., Rahpeima, M., Khademian, Z., & Dabbaghmanesh, M. H. (2021). The effects of aromatherapy massage with lavender essential oil on neuropathic pain and quality of life in diabetic patients: A randomized clinical trial. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, *44*, 101430. <https://doi.org/10.1016/J.CTCP.2021.101430>
- Rodriguez, E., Salangad, O., Almeda, R., Reyes, C., & Salamanez, K. (2019). Fatty acid and unsaponifiable composition of ten philippine food plant oils for possible nutraceutical and cosmeceutical applications. *Agriculture and Forestry*, *65*(3), 115–134. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.65.3.10>
- Rosenthal, A., Israilevich, R., & Moy, R. (2019). Management of acute radiation dermatitis: A review of the literature and proposal for treatment algorithm. *Journal of the American Academy of Dermatology*, *81*(2), 558–567. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2019.02.047>
- Sánchez, M., Avhad, M. R., Marchetti, J. M., Martínez, M., & Aracil, J. (2016). Jojoba oil: A state of the art review and future prospects. *Energy Conversion and Management*, *129*, 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.10.038>
- Sharifi-Rad, M., Nazaruk, J., Polito, L., Morais-Braga, M. F. B., Rocha, J. E., Coutinho, H. D. M., ... Sharifi-Rad, J. (2018). Matricaria genus as a source of antimicrobial agents: From farm to pharmacy and food applications. *Microbiological Research*, *215*(June 2017), 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.06.010>
- Sharmeen, J. B., Mahomoodally, F. M., Zengin, G., & Maggi, F. (2021). Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. *Molecules*, *26*(3). <https://doi.org/10.3390/molecules26030666>
- Soledad, C. P. T., Paola, H. C., Carlos Enrique, O. V., Israel, R. L. I., GuadalupeVirginia, N. M., & Raúl, Á. S. (2021). Avocado seeds (*Persea americana* cv. Criollo sp.): Lipophilic compounds profile and biological activities. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(6), 3384–3390. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.087>
- Stücker, M., Memmel, U., Hoffmann, M., Hartung, J., & Altmeyer, P. (2001). Vitamin B(12) cream containing avocado oil in the therapy of plaque psoriasis. *Dermatology (Basel, Switzerland)*, *203*(2), 141–147. <https://doi.org/10.1159/000051729>
- Świątek, Ł., Sieniawska, E., Sinan, K. I., Maciejewska-turska, M., Boguszewska, A., Polz-dacewicz, M., ... Zengin, G. (2021). LC-ESI-QTOF-MS/MS analysis, cytotoxic, antiviral, antioxidant and enzyme inhibitory properties of four extracts of *Geranium pyrenaicum* burm. F.: A good gift from the natural treasure. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(14), 1–26. <https://doi.org/10.3390/ijms22147621>
- Tang, S., Shi, J., Liu, C., Zhang, F., Xiang, N., Liu, X., ... Yang, G. (2017). Three new arylbenzofurans from *Lavandula angustifolia* and their bioactivities. *Phytochemistry Letters*, *19*, 60–63. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2016.12.005>
- Topçu, G., Herrmann, G., Kolak, U., Gören, A. C., Porzel, A., & Kutchan, T. M. (2007). Isolation of fatty acids and aromatics from cell suspension cultures of *Lavandula angustifolia*. *Natural Product Research*, *21*(2), 100–105. <https://doi.org/10.1080/14786410500462884>
- World Health Organization, (WHO). (2002). *Monographs on selected medicinal plants*. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42052>
- Yasir, M., Das, S., & Kharya, M. (2010). The phytochemical and pharmacological profile of *persea americana* Mill. *Pharmacognosy Reviews*, *4*(7), 77–84. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.65332>

## Capítulo 9

### Las plantas como aliadas para el combate al cambio climático

López-Puc Guadalupe<sup>1\*</sup>, Cano-Sosa Julia del Socorro<sup>1</sup>, Sacramento-Rivero Julio César<sup>2</sup>, Ramírez-López Roxanna Pamela<sup>2</sup>, Aguilera-Cauich Erick Alberto<sup>2</sup>, Herrera-Cool Gilbert José<sup>3</sup>, Cortazar Matilde<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Sub-sede Sureste. Tablaje Catastral 31264 Km 5.5 Sierra Papacal-Chuburná puerto. Parque Científico Tecnológico de Yucatán. CP 97302 Mérida, Yucatán, México.

<sup>2</sup>Laboratorio de Procesos. Universidad Autónoma de Yucatán. Periférico Norte Km 33.5, tablaje Catastral 13615, Col. Chuburná de Hidalgo Inn. CP 97203, Mérida, Yucatán México.

<sup>3</sup>Campo Experimental Chetumal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Carretera Chetumal-Bacalar km 25, C.P. 77963, Quintana Roo, México.

\*Autor de correspondencia [glopez@ciatej.mx](mailto:glopez@ciatej.mx)

**Palabras clave:** Biocarbón, biomateriales, biodiésel, biogás, pellets.

### Introducción

Las actividades antropogénicas (del hombre) en los últimos años han generado el aumento en la concentración de ciertos gases en la atmósfera provocando el efecto invernadero que a su vez contribuye al cambio climático.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas que forma parte de la composición natural de la atmósfera, pero cuando su concentración es elevada puede provocar cambios significativos en el clima del planeta. Las plantas pueden ayudar a disminuir el impacto del hombre en el cambio climático, ya que fijan el carbono atmosférico presente en la molécula de CO<sub>2</sub> por el proceso de fotosíntesis; además, son fuente de materias primas para la producción sustentable de bioenergéticos como el biogás, los biocombustibles líquidos (biodiésel, bioetanol, y bioturbosina), los biocombustibles sólidos como los pellets y para la fabricación de biomateriales como el biocarbón, los bioempaques y las fibras textiles, evitando así el consumo excesivo de combustible fósil.

### Cambio climático

*¿Qué sabemos del cambio climático de nuestro planeta?*

Frío, calor; son términos que relacionamos en nuestra vida diaria con cambios de temperatura, y seguramente has escuchado en la casa, en la escuela y las noticias que el planeta Tierra está experimentando cambios en su clima.

*¿Cuáles son los factores que provocan que los cambios de clima ocurran en nuestro planeta?*

Los cambios de temperatura en el planeta ocurren principalmente por efecto de la actividad volcánica, las lluvias, el nivel del mar y la composición de la atmósfera. En la actualidad, existe la hipótesis de que el cambio climático observado, se debe principalmente al resultado de la actividad del hombre y que los factores naturales han tenido una influencia mínima (Arellano *et al.*, 2006).

*¿Qué actividades del hombre influyen en el cambio climático?*

La deforestación generada por la construcción de carreteras, y viviendas; la actividad agrícola y pecuaria; y la utilización de combustibles fósiles para el transporte, para la generación de energía eléctrica y la fabricación de diversos productos utilizados por el hombre. Todas estas actividades provocan el aumento de gases de invernadero en la atmósfera, principalmente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

*¿Pero sabes cuáles son los efectos del cambio climático?*

El cambio climático afecta a la biodiversidad y está provocando desplazamientos de especies y poblaciones en todo el mundo (Rödder *et al.*, 2021). El cambio climático afecta el comportamiento de hibernación y la migración de aves, se afectan los cultivos de plantas provocando la disminución en la producción y abastecimiento de alimentos, se afecta también la salud humana debido a la reaparición de enfermedades e incremento de alergias. El cambio climático también contribuye a que los fenómenos naturales como sequías, inundaciones, huracanes y tornados sean de mayor magnitud (Alvarado *et al.*, 2002).

## Bioenergía

Si alguien te dijera que es posible producir energía con las plantas, ¿le creerías? Aunque parezca difícil de creer, lo cierto es que ¡sí es posible! Esto es gracias a que las plantas están formadas por muchos componentes químicos, que a su vez pueden convertirse en combustibles y electricidad (Figura 1).

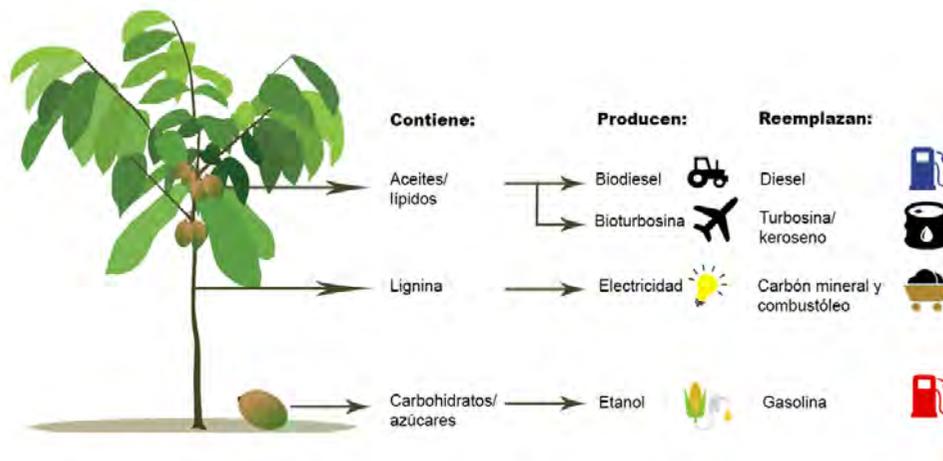


Figura 1. Los componentes de las plantas se pueden transformar en diferentes tipos de bioenergía, que a su vez pueden reemplazar el uso de combustibles fósiles

Dependiendo de qué componentes de la planta transformemos, será el tipo de bioenergía que produciremos. Por ejemplo:

1. Muchas plantas tienen partes ricas en carbohidratos (también llamados azúcares), que abundan en algunas raíces (como la remolacha), a veces en los tallos (como en la caña de azúcar) o en los granos (como en el maíz). Estos azúcares son el alimento preferido de algunos microorganismos llamados levaduras que, bajo las condiciones adecuadas, transforman los carbohidratos en alcohol etílico, también llamado etanol. Este proceso es idéntico al de fabricación de bebidas alcohólicas, como la cerveza. El etanol, además de usarse como bebida, por sus propiedades físicas y químicas, puede usarse como sustituto de la gasolina, que proviene del petróleo, y que usamos normalmente como combustible para nuestros autos.
2. Los aceites vegetales, que se extraen de las semillas de plantas como la soya, el girasol o la palma aceitera, al mezclarse con un alcohol provocan una reacción química (llamada “transesterificación”) que produce una mezcla de sustancias químicas llamadas “ésteres metílicos de ácidos grasos”, o como se les conoce comúnmente, biodiésel. Por sus propiedades físicas y químicas, el biodiésel se puede utilizar como un sustituto del diésel con el que se impulsan algunos autos y camiones, o las plantas eléctricas de emergencia.
3. También con aceites vegetales podemos fabricar un combustible adecuado para los aviones, que llamamos bioturbosina. Verás, los aviones actualmente utilizan keroseno (también llamado turbosina), que es una mezcla de moléculas derivadas del petróleo, llamadas hidrocarburos ligeros (son “ligeros”, porque son cadenas muy pequeñas hechas de carbono e hidrógeno solamente). Cuando a los aceites vegetales les aplicamos mucha presión y altas temperaturas, sus moléculas se rompen en cadenas pequeñas, liberan el oxígeno que tienen, y lo que resulta son moléculas de hidrocarburos muy similares a los de la turbosina. De esta manera, ¡los aviones pueden volar con combustible hecho a partir de aceites vegetales!
4. Los desechos de las plantas que tienen azúcares y poca fibra como las hojas, cáscaras de fruta, residuos de frutos y flores, también son fuente de bioenergía. Existen microorganismos que crecen en condiciones de poco oxígeno y que los transforman en un gas con alto contenido de metano, al que llamamos biogás. Este biogás se puede usar en lugar del gas LP (el que usamos en las estufas de las casas), o también en lugar del gas natural, un combustible fósil que se usa mucho en las grandes industrias. Incluso, si se produce en grandes cantidades, el biogás puede usarse para generar electricidad.
5. En algunas plantas abunda un material fibroso conocido como lignocelulosa, principalmente en sus troncos y tallos (como la madera), o en cáscaras duras, como las del coco o las nueces. Este material es altamente inflamable (prende como el pasto seco, por ejemplo). Resulta que también contienen suficiente energía como para generar una flama

potente que puede hervir el agua a alta presión; a su vez, ese vapor se puede usar para impulsar turbinas que generen *electricidad*. De esta manera, se puede usar lignocelulosa en sustitución de combustibles fósiles (como el *carbón mineral* o el *combustóleo*), que son los que normalmente se utilizan para producir la electricidad que llega a nuestras casas.

De esta manera, los biocombustibles líquidos (bioetanol y biodiésel) son compuestos derivados de las plantas que podemos usar para el *transporte* (automóviles y aviones). Los biocombustibles sólidos (madera y materiales lignocelulósicos) se pueden usar para *generar calor* (para cocinar, como lo hace muchísima gente con leña, o carbón vegetal), pero también *electricidad* para nuestras casas, el alumbrado público y todo lo que funcione con ella.

Al conjunto de todas estas formas de energía, derivadas de las plantas, es a lo que llamamos *bioenergía*.

## Pellets

*¿Sabías que hay pequeños fragmentos de biomasa triturada y comprimida llamados Pellets que se utilizan para generar energía?* Así es, los pellets (Figura 2), generalmente con forma cilíndrica y longitud típica entre 5 y 40 mm (Thrän *et al.*, 2019) permiten generar bioenergía.



Figura 2. Pellets con longitud típica entre 5 y 40 mm (depositphotos.com, 2021).

Los pellets están catalogados dentro de los biocombustibles sólidos, los cuales son definidos como cualquier material vegetal utilizado directamente como combustible o que es convertido en otras formas mediante procesos físicos (Ríos-Badrán *et al.*, 2020).

### ¿De dónde se obtienen los pellets?

Los pellets son generados a partir de la biomasa y residuos agrícolas y agroindustriales. En particular hay especial interés en el uso de residuos agroindustriales para la producción de pellets bioenergéticos, ya que ayuda a disminuir los problemas de contaminación generada por esta clase de residuos (Ríos-Badrán et al., 2020).

Los pellets son prácticos ya las personas pueden disponer de ellos cuando se requieran y pueden ser almacenados por largos periodos de tiempo, esto es gracias a la baja humedad que contienen (Alemán-Nava et al., 2014).

El uso de pellets genera bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que los hace una excelente opción para mitigar el cambio climático y ayudar a enfrentar al planeta con los problemas ambientales.

### ¿Cómo afecta la bioenergía al ambiente?

Cuando usamos combustibles fósiles, básicamente lo que estamos haciendo es *quemar petróleo*. El petróleo es una sustancia con muchísima energía concentrada en forma de átomos de carbono que han pasado millones de años enterrados. Al quemarlo, en tan solo unos minutos convertimos todo ese carbono en *dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)*, el cual es un gas que se acumula en la *atmósfera*. Si bien es cierto que el CO<sub>2</sub> en la atmósfera es necesario para la vida, también es cierto que *demasiada cantidad provoca* el famoso *calentamiento global* y esto es malo no sólo porque el ambiente sea ligeramente más cálido, sino porque ese incremento de temperatura causa todo tipo de desequilibrios en el clima, lo que llamamos *cambio climático*.

De esa manera, los científicos han asociado que la quema de combustibles fósiles (carbón mineral, gas natural, petróleo y sus derivados) genera calentamiento global y, por lo tanto, cambio climático. Las consecuencias son, en algunos casos, devastadoras: los glaciares se deshuelan, dejando sin fuente de agua a poblaciones que han habitado las montañas por generaciones; climas tan cálidos o variables que ya no es posible cultivar alimentos; temperaturas altas en lugares tradicionalmente fríos, que permiten que aparezcan enfermedades como el dengue o infecciones bacterianas donde antes no se daban; incrementos en el nivel del mar que causan que poblaciones en islas pequeñas o cerca de las playas tengan que dejar sus tierras, ahora inundadas, y migrar a otros países.

Por otro lado, cuando usamos bioenergía, no quemamos el carbono que está bajo la tierra en forma de petróleo, sino usamos el carbono que contienen las plantas. Ese carbono, las plantas lo acumulan mientras crecen y lo toman... ¡del CO<sub>2</sub> que está en la atmósfera! De este modo, el CO<sub>2</sub> que se libera al consumir bioenergía, las mismas plantas lo recapturarán en poco tiempo

cuando vuelvan a crecer. A esto se le conoce como *ciclo neutro de carbono*. Cuando este mecanismo se cumple estrictamente, podemos asegurar que *la bioenergía NO incrementa la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera* (Figura 3), y por lo tanto no genera *calentamiento global adicional*

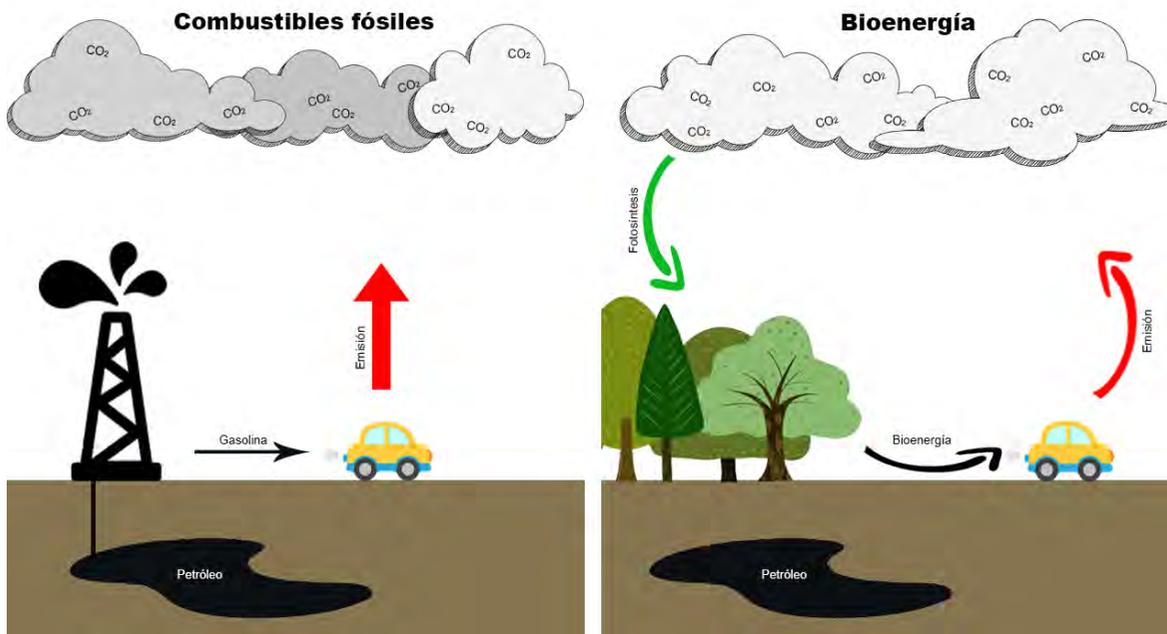


Figura 3: Los combustibles fósiles acumulan CO<sub>2</sub> en la atmósfera, mientras que la bioenergía mantiene el CO<sub>2</sub> en un ciclo cerrado, que no modifica su concentración en la atmósfera.

Con esta estrategia, podríamos *reducir una cuarta parte* de las emisiones que causan el calentamiento global. Imagina ahora que, además, plantáramos más árboles para generar bosques nuevos, que capturen CO<sub>2</sub> de la atmósfera para crecer por muchos años. Con esta estrategia pudiéramos evitar un 14 % adicional de emisiones al año 2050 (IRENA, 2021) logrando así, no sólo detener la acumulación de CO<sub>2</sub> nuevo, sino reducir la concentración del CO<sub>2</sub> que, desde finales del siglo XVIII, con la Revolución Industrial, hemos estado acumulando en la atmósfera. Esto sería muy benéfico para combatir el cambio climático.

### **¿Cuánta bioenergía es posible hacer sin perjudicar al medio ambiente?**

Como podrás imaginar, tampoco sería bueno generar toda la bioenergía que queramos. Para crecer plantas con el fin de hacer bioenergía, se requieren grandes extensiones de tierra. A veces, esa tierra está ocupada por ecosistemas con mucha riqueza (como bosques, selvas y manglares); ese tipo de tierras es mejor dejarlas como están, y no transformarlas en campos de cultivo, pues ya cumplen la función importantísima de retirar mucho CO<sub>2</sub> de la atmósfera para su crecimiento y transformarlas en campos de cultivo sería contraproducente para el calentamiento global. También, hay quienes piensan que utilizar la tierra para producir alimentos es mucho más

importante que utilizarla para producir energía (GreenFacts, n.d.). Esto es un debate que todavía continúa entre los científicos.

Entonces, ¿qué debemos hacer? La alternativa más aceptada es hacer *bioenergía* de aquellas partes de las plantas que normalmente *no son aprovechadas para alimento*; por ejemplo, en el proceso de fabricación del azúcar, queda como residuo una fibra rica en lignocelulosa, llamado bagazo de caña, con ello los ingenios azucareros (las fábricas de azúcar) de México, Brasil, Guatemala y de alrededor del mundo, generan su propio calor y electricidad, es decir, ¡su propia bioenergía! Esta misma idea se puede aplicar a muchos otros cultivos. En Argentina, famosos por su carne de res, se produce muchísima pasta de soya para dar de alimento al ganado; en la producción de esa pasta, se genera muchísimo aceite de soya, más de lo que requieren consumir como alimento, por lo que destinan los sobrantes para producir biodiésel. Así, cada país y cada región debe escoger *las alternativas que mejor le convengan según su contexto*.

### ***¿Por qué usar bioenergía y no otras energías renovables?***

Es cierto que *fuentes de energía renovable*, como la energía solar y la energía eólica, son más sencillas y baratas para producir *electricidad*; sin embargo, las estimaciones actuales indican que *no alcanzan para sustituir TODA la energía que utilizamos* en el mundo. Además, estas fuentes de energía, a pesar de ser muy abundantes, tienen la desventaja de ser *intermitentes*, es decir, cuando no hay luz solar (en las noches o en los inviernos) o cuando sopla poco el viento, la generación de electricidad se suspende, y almacenar en baterías la energía solar y eólica que se produce mientras sí hay luz y viento, es demasiado costoso como para ser viable a gran escala (Clack et al., 2017)

Aquí es donde *la bioenergía* juega un papel muy importante: los biocombustibles líquidos, sólidos y gaseosos *se pueden almacenar*, y utilizarse cuando se requieran. De esta manera, se puede usar bioenergía como fuente de respaldo para generar electricidad cuando no haya luz solar o viento (Masera Cerutti et al., 2011). Te podrás imaginar que de esta manera no es necesario generar muchísima bioenergía de plantas, sino solo *lo suficiente para dar respaldo a las otras energías renovables*.

Este tipo de sistemas con varias fuentes de energía renovable se llaman “*sistemas híbridos*” y serán el futuro energético del mundo, en donde los combustibles fósiles no serán necesarios.

Otra función de la bioenergía que no puede realizar ninguna otra fuente de energía renovable, es la de los combustibles líquidos. Aún cuando los autos eléctricos serán cada día más y más comunes, faltan muchos años para que se puedan utilizar para todas las *necesidades*

*de transporte* que tenemos los seres humanos, especialmente el transporte de mercancías en trayectos largos de más de 500 km. La transición será lenta y no llegará en menos de 30 años. En ese tiempo, biocombustibles como el biodiesel, bioetanol y bioturbosina, serán de las pocas alternativas que tengamos para mitigar el calentamiento global causado por el *transporte terrestre y aéreo* de mercancías y personas.

Por estas razones, está previsto que la *bioenergía* aporte hasta el 18 % de toda la energía que se consume en el mundo (IRENA, 2021); esto equivale a ¡todo el consumo de energía de Estados Unidos y Rusia juntos! (Enerdata, 2021).

*En conclusión, ¿es bueno o malo producir o consumir bioenergía?*

Hay muchos tipos de bioenergía, y cada una tiene ventajas y desventajas. Cuando la bioenergía se hace a partir de las plantas, hay que tener cuidado de hacerlo bien: no causar deforestación ni daños a los ecosistemas, respetar los derechos de los dueños de la tierra y garantizar tratos justos para ellos. Cuando se hace de esta manera, podemos hablar de *bioenergía sostenible* (o sustentable). Estas consideraciones de sostenibilidad deben tenerse en cuenta para todas las formas de energía, renovables y no renovables, si queremos una sociedad mejor y un planeta más saludable.

De lo que estamos seguros, es que necesitamos alternativas viables para *dejar de usar combustibles fósiles lo antes posible* y en esa transición, *la bioenergía* juega un papel *indispensable* como respaldo para la generación de electricidad con fuentes renovables, y para el sector autotransporte y de aviación. Al final, dentro de algunos años, lograremos una sociedad en donde prácticamente toda la energía que consumamos provenga del sol, del viento, y de las plantas, es decir, de fuentes renovables de energía. Si actuamos rápido y bien, ese día estaremos más cerca de acabar con la terrible amenaza del calentamiento global.

## **Biomateriales**

### ***Biocarbón***

*¿Sabías que el incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es uno de los factores que contribuyen al cambio climático, y que en los últimos años hemos liberado más CO<sub>2</sub> a la atmósfera del que se almacena durante el ciclo del carbono en el agua, plantas y la corteza terrestre?*

Para apoyar la reducción de la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se ha propuesto el incremento de los sumideros naturales de carbono como bosques, selvas y áreas verdes urbanas; en ellos el carbono presente en la molécula de CO<sub>2</sub> es retenida como biomasa vegetal de manera temporal dentro del ciclo biogeoquímico del carbono (FAO, 2000).

Con anterioridad (Seifritz, 1993), y como parte de la estrategia para incrementar el almacenamiento de carbono y su permanencia fuera de la atmósfera se propuso una estrategia ambiental y económicamente viable, la producción de un material rico en carbono, el carbón vegetal ( $C_{veg}$ ).

### ¿Cómo el carbón vegetal puede ser una estrategia de mitigación de $CO_2$ ?

Conocemos al  $C_{veg}$  como una fuente importante de combustible para cocinar y en la producción de energía eléctrica; tan solo en 2015 se produjeron a nivel global 52 millones de toneladas de  $C_{veg}$ , principalmente en África (62.1%), América (19.6%) y Asia (17%), (FAO, 2017); pero si en lugar de quemar el  $C_{veg}$  este se almacenara, se estima que podría secuestrar en promedio 2.93 toneladas de  $CO_2$  por cada tonelada métrica. ¿Pero cómo?: el 50% del peso seco de la biomasa lignocelulósica ( $B_{LC}$ ) es carbono fijado, y cerca del 50% del carbono en la  $B_{LC}$  puede ser capturada y secuestrada como  $C_{veg}$ , donde cerca del 80% de su peso es carbono ((Steiner, 2010).

El  $C_{veg}$  utilizado como estrategia de mitigación es denominado, biocarbón, y a diferencia del primero no es requisito indispensable un poder calorífico elevado, ya que su función principal es la captura de carbono y no la generación de energía; situación que evita una competencia por materia prima y abre la oportunidad para el uso de fuentes alternativas de biomasa para su producción.

### ¿Qué es el biocarbón y como se produce?

Es una sustancia heterogénea rica en carbón y minerales, producida por pirolisis, un proceso de degradación termoquímica a alta temperatura ( $>350\text{ }^{\circ}C$ ) en ausencia de oxígeno y a través de procesos como: torrefacción, hidrocarbonización, gasificación, pirólisis lenta, rápida, y asistida por microondas; aplicados a diferentes fuentes de biomasa como: plantas, rastrojos agrícolas, residuos forestales y maderables, desechos animales, y lodos residuales (Kumar *et al.*, 2020).

Quizá la mayor capacidad de mitigación del biocarbón se observe como biomaterial; con propiedades físicas como : densidad aparente, capacidad de retención de agua, porosidad y área superficial específica; y las químicas como: pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y potencial de encalado (EBC, 2012; Singh *et al.*, 2017); lo anterior permite que además de almacenar carbono, al ser utilizado para sustituir materiales en procesos a escala particular y/o industrial en áreas afines a la producción agrícola, bioremediación, construcción, electrónica y purificación de aire como se ejemplifica en la figura 4, sustituye o reduce el uso de materiales fósiles.

Hasta ahora se ha estudiado principalmente biocarbón elaborado con residuos de sistemas agroforestales y pecuarios, pero hay fuentes de biomasa en sistemas urbanos, silvestres y residuos agroindustriales que pueden ser utilizados como fuente de biomasa para su producción, y analizar su potencial para sustituir el uso de materiales fósiles.



Figura 4. Ejemplos del uso del biocarbón como biomaterial aplicado en área de conservación ambiental, producción de alimentos y construcción.

## Bioempaques

¿Sabes cómo se le llamó al primer tipo de plástico conocido?, se llamo Parkesina y se le dio este nombre en honor a su inventor “Alexander Parkes”, quién lo inventó a partir de la celulosa, un componente de la pared celular de las plantas.

Con el paso del tiempo se desarrolló el plástico totalmente sintético y en el siglo XX con el desarrollo del PVC (policloruro de vinilo), fabricado a partir de desecho de la industria petroquímica, se extendió masivamente el uso del plástico (*Plastic Atlas 2019 : Facts and Figures about the World of Synthetic Polymers, 2019*).

¿Por qué son importantes los plásticos en nuestra vida diaria?, se utilizan en equipos médicos, contenedores de alimentos, botellas, etc.; sin embargo, la mala administración de sus usos, la falta de reglamentaciones y la lenta degradación ocasionan acumulación de enormes cantidades de plástico que contamina el medio ambiente y durante su degradación se generan fragmentos menores de 5 mm denominados micro plásticos que pueden ingresar a nuestro organismo por ingestión, inhalación y contacto dérmico, lo que puede ser tóxico (Prata et al., 2020).

### ¿Qué podemos hacer para disminuir los efectos negativos del uso de plásticos?

Las plantas son nuestros mejores aliados en el remplazo de uso de plásticos; los bioempaques pueden sustituir gran parte de los plásticos que utilizamos pues se degradan rápidamente (de un mes a un año para un bioempaque contra 100 años de un plástico), ya que se producen a base de polihidroxicanoato, celulosa, almidón, proteínas, lípidos y ceras (Reichert *et al.*, 2020; Bugatti *et al.*, 2020); componentes de las plantas, lo que permite aprovechar subproductos derivados de plantas como la cáscara y frutos no utilizados para consumo; un ejemplo son los plátanos, frutos de los más consumidos en el mundo y recientes investigaciones nos indican que pueden ser útiles para obtener bioempaques. El investigador Heba Sayed Mostafa de la Universidad de El Cairo en Guiza, Egipto nos plática sobre partes de plátano que pueden ser utilizadas para obtener nano fibras de celulosa para bioempaques (Mostafa, 2021).

En el caso de México, en 2019, algunas empresas firmaron un Acuerdo Nacional para la Nueva Economía del Plástico en México y para 2020 una de las empresas refresqueras de mayor auge en el mundo, se ha comprometido al uso de nuevos empaques plásticos a base de plantas (Coca-cola femsa, 2019).

No olvides optar por contenedores biodegradables; aliados a las plantas podemos mejorar el medio ambiente, así como mitigar el cambio climático que ya está presente.

### Fibras textiles

Como bien se sabe, actualmente existen normas que han sido enfocadas a motivar a los investigadores y los fabricantes a desarrollar alternativas para sustituir la obtención de materiales hechos de residuos fósiles y recursos minerales (Vidil *et al.*, 2020). Una de estas alternativas se refiere al desarrollo de fibras textiles a partir de plantas como sustitutos de los compuestos de fibras sintéticas.

Las fibras vegetales tienen ventajas en comparación con sus contrapartes sintéticas convencionales, por ejemplo, son de bajo costo, baja densidad, baja abrasividad, tienen altas propiedades mecánicas específicas, abundante disponibilidad, biodegradabilidad, renovabilidad y sostenibilidad (Pickering *et al.*, 2016).

Una de las plantas que se utilizan para la generación de fibras textiles es el Yute (*Corchorus capsularis* L.), (Figura 5A) la cual, es una especie herbácea conocida como fibra dorada debido a la coloración marrón amarillento de las fibras extraídas y procesadas.

Uno de los usos que se da a los hilos elaborados con la fibra de coco es el tejido de redes ecológicas que se destinan para exportación a países europeos que tienen problemas de erosión del suelo. Se puede considerar que el uso de las fibras textiles proveniente de especies vegetales abre un panorama de posibilidades para aprovechar los residuos vegetales que incluso permiten obtener productos amigables con el medio ambiente.

En Vietnam por ejemplo, utilizan fibra extraída del fruto de coco (*Cocos nucifera* L.) para generar diversos productos. La fibra es un material delgado semejante a un filamento. La producción de este material es de gran importancia para la población vietnamita ya que obtienen 1 kg de fibra a partir de borra de 10 frutos; la fibra fina se prensa para formar pacas de 100 kg. Una vez formadas las pacas se trasladan en barcazas hacia talleres de artesanías donde fabrican tapetes rústicos y decorativos, además de hilos y redes ecológicas para exportación, así como para la industria colchonera (Figura 5).



Figura 5. Fibras textiles obtenidas de plantas. a). Procesamiento de la fibra de Yute en Assam, India. b) Fibra manufacturada para relleno de colchones (depositphotos.com, 2021).

## Conclusión

En conclusión, las plantas son seres vivos que debemos respetar y apreciar por los beneficios que nos proporcionan, ya que directamente contribuyen a regular el clima del planeta e indirectamente podemos obtener biocombustibles y biomateriales, disminuyendo así el uso de combustibles fósiles que tienen mayor impacto en el cambio climático; así que, cada uno de nosotros debemos aportar un granito de arena para disminuir los factores que influyen en el cambio climático.

*¿Cómo podemos ayudar?*, usando fuentes de bioenergía como el biodiesel, bioturbosina, biogás, bioetanol y pellets; biomateriales como biocarbón, fibras textiles de plantas y bioempaques; también apagando luces, y aparatos electrónicos cuando no los estamos utilizando, reusando y reutilizando las cosas. ¡Efectivamente, estas también son acciones que contribuyen a disminuir el impacto negativo del cambio climático en nuestro planeta!

## Referencias

- Alemán-Nava, G. S., Casiano-Flores, V. H., Cárdenas-Chávez, D. L., Díaz-Chavez, R., Scarlat, N., Mahlknecht, J., Dallemand, J. F., & Parra, R. (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 32, pp. 140–153). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.004>
- Alvarado, M. A., Foroughbakhch, R., Jurado, E., & Rocha, A. (2002). El cambio climático y la fenología de las plantas. *CIENCIA UANL*, 6(4), 493–500.
- Arellano, J., De, J., & Rivas, L. (2006). *Plantas y cambio climático A systems approach to the mechanisms of neurodegeneration View project IGF1R and Chronic Lung Diseases View project*. <https://www.researchgate.net/publication/39375569>
- Bugatti, V., Viscusi, G., & Gorrasi, G. (2020). Formulation of a bio-packaging based on pure cellulose coupled with cellulose acetate treated with active coating: Evaluation of shelf life of pasta ready to eat. *Foods*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/foods9101414>
- Clack, C. T. M., Qvist, S. A., Apt, J., Bazilian, M., Brandt, A. R., Caldeira, K., Davis, S. J., Diakov, V., Handschy, M. A., Hines, P. D. H., Jaramillo, P., Kammen, D. M., Long, J. C. S., Morgan, M. G., Reed, A., Sivaram, V., Sweeney, J., Tynan, G. R., Victor, D. G., ... Whitacre, J. F. (2017). Evaluation of a proposal for reliable low-cost grid power with 100% wind, water, and solar. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(26), 6722–6727. <https://doi.org/10.1073/pnas.1610381114>
- EBC. (2012). Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. In *European Biochar Foundation (EBC)* (Issue September). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4658.7043>
- Enerdata. (2021). *Anuario estadístico mundial de energía 2021*. Energía Total. <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>
- FAO. (2000). Carbon Sequestration Options Under the Clean Development Mechanism to Address Land Degradation. In *World Soil Resources Reports*.
- FAO. (2017). *The charcoal transition: greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods* (J. van Dam, Ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- GreenFacts. (n.d.). *Bosques y energía. ¿Cuáles Son Las Consecuencias de Un Mayor Uso de La Bioenergía?* <https://www.greenfacts.org/es/bosques-energia/l-2/5-consecuencias-mayor-uso-bioenergia.htm>
- IRENA. (2021). World energy transitions outlook. *Irena*, 1–54.
- Kumar, A., Saini, K., & Bhaskar, T. (2020). Advances in design strategies for preparation of biochar based catalytic system for production of high value chemicals. *Bioresource Technology*, 299(October 2019), 122564. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122564>
- Masera Cerutti, O., Coralli, F., García Bustamante, C., Riegelhaupt, E., Arias Chalco, T., Vega Gregg, J., Díaz Jiménez, R., Guerrero Pacheco, G., & Cecotti, L. (2011). La bioenergía en México, Situación actual y perspectivas. In *Cuadernillos temáticos sobre Bioenergía* (Vol. 4, Issue Agosto 2011).
- Mostafa, H. S. (2021). Banana plant as a source of valuable antimicrobial compounds and its current applications in the food sector. *Journal of Food Science*, 1750-3841.15854. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15854>
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., & Le, T. M. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. In *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* (Vol. 83, pp. 98–112). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>

- Plastic atlas 2019 : Facts and figures about the world of synthetic polymers.* (2019). Heinrich Böll foundation.
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. In *Science of the Total Environment* (Vol. 702). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- Reichert, C. L., Bugnicourt, E., Coltelli, M. B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., Braca, F., Martínez, B. M., Alonso, R., Agostinis, L., Verstichel, S., Six, L., de Mets, S., Gómez, E. C., Ißbrücker, C., Geerinck, R., Nettleton, D. F., Campos, I., Sauter, E., ... Schmid, M. (2020). Bio-based packaging: Materials, modifications, industrial applications and sustainability. In *Polymers* (Vol. 12, Issue 7, pp. 1–35). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym12071558>
- Ríos-Badrán, I. M., Luzardo-Ocampo, I., García-Trejo, J. F., Santos-Cruz, J., & Gutiérrez-Antonio, C. (2020). Production and characterization of fuel pellets from rice husk and wheat straw. *Renewable Energy*, 145, 500–507. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.048>
- Rödder, D., Schmitt, T., Gros, P., Ulrich, W., & Habel, J. C. (2021). Climate change drives mountain butterflies towards the summits. *Scientific Reports* |, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93826-0>
- Seifritz, W. (1993). Should we store carbon in charcoal? *International Journal of Hydrogen Energy*, 18(5), 405–407. [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(93\)90219-Z](https://doi.org/10.1016/0360-3199(93)90219-Z)
- Singh, B., Camps-Arbestain, M., Lehmann, J., & CSIRO (Australia). (2017). Biochar: A Guide to Analytical Methods. In B. Singh, M. Camps-rbestain, & J. Lehmann (Eds.), *Csiro publishing*. CRC Press/Taylor and Francis Group.
- Steiner, C. (2010). Las perspectivas de Biocarbón - secuestro de carbono , ciclo de nutrientes y generación de energía Biochar prospects – carbon sequestration , nutrients cycle and energy generation Introducción. *Revista Palmas*, 31(No. Especial, Tomo II), 116–125.
- Thrän, D., Schaubach, K., Peetz, D., Junginger, M., Mai-Moulin, T., Schipfer, F., Olsson, O., & Lamers, P. (2019). The dynamics of the global wood pellet markets and trade – key regions, developments and impact factors. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(2), 267–280. <https://doi.org/10.1002/bbb.1910>
- Vidil, L., Potiron, C. O., Bilba, K., & Arsène, M. A. (2020). Characterization of a New Native Plant Textile, Leaf Sheath from *Cocos nucifera* L., as Potential Reinforcement of Polymer Composites. *Ann Agric Crop Sci*, 2020(1). [www.austinpublishinggroup.com](http://www.austinpublishinggroup.com)

#### Sitios web

[Depositphotos.com](https://sp.depositphotos.com/) (2021). <https://sp.depositphotos.com/>

## Capítulo 10

### Materiales poliméricos a partir de plantas

González-Canché, Nancy G.<sup>1</sup>, Uribe-Calderón, Jorge A.<sup>2</sup>, Pech-Cohuo, Soledad C<sup>3\*</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones en Óptica A.C., Unidad Aguascalientes, Constitución 607, Fracc. Reserva Loma Bonita, Aguascalientes CP 20200, Mexico.

<sup>2</sup>Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C., Calle 43 No. 130, Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán CP 97205, México.

<sup>3</sup>Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., Subsede Sureste, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto, Mérida, Yucatán 97302, México.

\*Autor de correspondencia: [spech\\_al@ciatej.edu.mx](mailto:spech_al@ciatej.edu.mx)

**Palabras Clave:** Materiales lignocelulósicos, alginato, almidón, poli (ácido láctico), hule natural.

### Introducción

Los polímeros bio-basados a partir de plantas son una alternativa para la generación de materiales con propiedades similares a los polímeros derivados del petróleo. Entre estos se encuentran la celulosa, lignina, hemicelulosa, almidón, alginato, poli (ácido láctico), entre otros.

El uso de estos polímeros presenta beneficios ambientales como la mitigación del impacto del cambio climático, reducción de residuos, consumo de menor energía y recursos. Además, pueden aplicarse en la elaboración de materiales para embalaje por su biodegradabilidad, generación de energía, y para el área de la salud por su biocompatibilidad.

La palabra polímero se deriva del griego clásico poly que significa “muchos” y meros que significa “partes”; por lo tanto, un polímero es una gran molécula (macromolécula) construida de pequeñas unidades químicas repetitivas (Ebewele, 2000).

Los polímeros pueden clasificarse de diversas formas: por su elasticidad, estructura, comportamiento térmico (termofijos y termoplásticos), propiedades físicas (comunes, funcionales, de ingeniería y especialidades), forma de sus cadenas moleculares (lineales, ramificados, reticulados), diferencia en sus unidades (homopolímeros, copolímeros y termopolímeros) y por su modo de obtención (sintéticos y bio-basados) (L. Reynoso, 2018).

Los polímeros bio-basados (PBB) se pueden obtener a partir de plantas y animales; poseen muchas características atractivas como: abundancia, son renovables y biodegradables (Visakh et al., 2013). Estos polímeros se dividen en bio-basados naturales y sintéticos. Los primeros son polímeros sintetizados por organismos vivos, entre los cuales están: los polisacáridos, celulosa, alginatos, hemicelulosa, almidón, proteínas, etc. Los bio-basados sintéticos son aquellos cuyos monómeros provienen de recursos renovables, pero requieren procesarse para la conversión a un polímero; por ejemplo el almidón de maíz puede hidrolizarse para la

bioconversión en ácido láctico a partir del cual se produce poli (ácido láctico) (PLA) (L. Reynoso, 2018).

En este capítulo se describirán algunos de los materiales que se pueden obtener a partir de plantas, la importancia ambiental de su uso, así como sus diversas aplicaciones.

## **Materiales basados en plantas y sus propiedades**

### **1-Materiales lignocelulósicos**

Las plantas son una fuente muy importante de polímeros naturales; tan sólo en los troncos de los árboles, las ramas, tallos, hojas y la cáscara de las frutas existe una fuente de polímeros muy importante denominados materiales lignocelulósicos (MLC).

La humanidad ha hecho uso de los MLC para diversas aplicaciones; una de las primeras fue el aprovechamiento de la madera para fabricar herramientas, muebles, vivienda, o elementos estructurales como puentes, etc.; por otra parte los MLC también han sido utilizados como fuente de energía a través de la combustión; por ejemplo la leña, para proporcionar calor y cocinar alimentos y también en la elaboración de materiales especializados como el papel y en la fabricación de cuerdas y tejidos (Ballesteros et al., 2018; Basu, 2010).

De manera específica, los MLC se refieren a la hemicelulosa, celulosa y lignina que constituyen la pared celular de las plantas (Figura 1). Otros componentes en menor cantidad son: pectinas, proteínas, lípidos y cenizas (Dhyani & Bhaskar, 2018). La celulosa es el componente estructural primario de las fibras en la pared celular de las plantas y proporciona estabilidad estructural y fuerza a la misma; esta se constituye de una larga cadena no ramificada de unidades de  $\beta$ -glucosa y tiene fuerte tendencia a formar enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares. Estos enlaces forman paquetes de estructuras cristalinas llamadas microfibrillas, que son las que construyen las fibras de celulosa.

La hemicelulosa es un polímero de cadena corta y de bajo peso molecular que sirve como agente conector, pues enlaza las microfibrillas proporcionando reforzamiento estructural a la pared celular y la lignina es un material amorfo que actúa como cemento entre los filamentos de celulosa (Pech Cohuo, 2013).

Existe una gran variedad de fuentes de MLC; las convencionales son las plantas y madera, y las no convencionales son los residuos generados a través de actividades forestales, agrícolas, municipales e industriales. Los residuos forestales incluyen biomasa leñosa, desechos provenientes de la tala y poda, así como del procesamiento de la madera. Los agrícolas se generan por diferentes cultivos tales como los cultivos de maíz, de arroz, de trigo, caña de azúcar, etc. Los desechos municipales e industriales provienen de fuentes tanto residenciales como no residenciales, como los residuos alimenticios y de la fabricación de papel (Ballesteros et al., 2018; Hernández-Beltrán et al., 2019).

Estos residuos pueden tener un impacto ambiental negativo cuando se disponen de ma-

nera inadecuada en los rellenos sanitarios por los altos volúmenes que se generan, por lo que la valorización de los MLC se puede considerar de bajo costo y renovable, aprovechándose como fuente de polímeros naturales en la investigación y desarrollo de nuevos materiales sustentables de valor agregado para reintroducirlos a un nuevo ciclo productivo. Por ejemplo, residuos de aserrín de las madererías pueden utilizarse como elemento de refuerzo en la formulación de materiales compuestos madera-plástico (*Wood plastic composites*) al combinarse con polímeros reciclados.

En países anglosajones representan una solución atractiva para sustituir a la madera que proviene de los árboles, contribuyendo a preservar los recursos forestales (Pech Cohuo, 2013); también pueden obtenerse nanomateriales que presentan propiedades atractivas para ser aplicados como elementos de refuerzo de materiales compuestos poliméricos, en películas con propiedades de barrera o antimicrobianas para la industria del empaque, en aplicaciones biomédicas o de almacenamiento de energía (Pech Cohuo, 2018) "title": "Obtención y modificación de nanocristales de celulosa de residuos de Agave tequilana Weber para la producción de nanorefuerzos para Poli(ácido láctico).

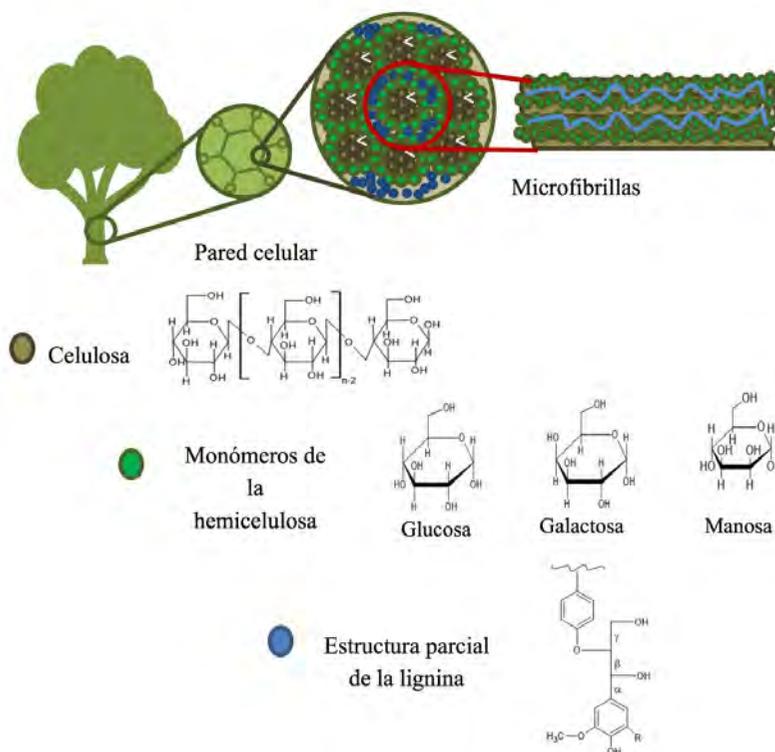


Figura 1. Estructura de un material lignocelulósico.

## 2- Almidón.

El almidón es un carbohidrato polimérico que consiste en uniones de anhidroglucosa unidas con enlaces glucosídicos. El almidón es un material heterogéneo que contiene dos microestructuras, la lineal (amilosa) y el ramificado (amilopectina) (Figura 2).

La estructura lineal de la amilosa lo hace más cercano a un polímero sintético convencional; por otro lado, la amilopectina es un polímero ramificado y su peso molecular es mucho mayor que la amilosa. El almidón puede procesarse mediante tecnologías empleadas en polímeros comunes (Yu et al., 2013) y puede obtenerse a partir de varias fuentes como maíz, papa, trigo, arroz, cebada, avena, soya (Figura 2) (Rydz et al., 2018); además de otras no convencionales como las semillas de Ramón (*Brosimum alicastrum*) (Pérez-Pacheco et al., 2014), parota (*Enteolobium cyclocarpum*) (Estrada-León et al., 2016) y huaya (*Melicoccus bijugatus*) (Moo-Huchin et al., 2020); árboles nativos del sureste de México.

El almidón tiene una amplia variedad de usos en los sectores alimenticios e industriales debido a su capacidad de dispersarse en agua caliente. En alimentos por ejemplo, las pastas de almidón sirven como aglutinantes y estabilizadores. Los almidones alimenticios a menudo son ligeramente modificados químicamente para evitar la recristalización que produce el endurecimiento del pan, incrementar la unión con el agua y mejora las propiedades de emulsificación.

El almidón también se puede usar como un adhesivo para papel, carpetas, tabletas farmacéuticas y muchos otros productos, como en la generación de materiales biodegradables para la elaboración de empaques alimenticios (Shogren et al., 2019).



Figura 2. Fuentes y polímeros que conforman el almidón.

### 3- Poli (ácido láctico) (PLA)

El poliácido láctico (PLA) fue sintetizado hacia el año 1845 por Théophile-Jules Pelouze en una reacción de condensación del monómero de ácido láctico (Figura 3).

En 1932, Wallace Hume Carothers y sus colaboradores desarrollaron un método de reacción para polimerizar monómero láctido y producir PLA que más tarde patentaría DuPont en 1954. A pesar de que el PLA ha existido desde hace varias décadas, su uso fue limitado a aplicaciones biomédicas (por ejemplo, suturas biocompatibles, implantes, dispositivos activos de liberación controlada) debido a su alto costo de producción. Además, una de las razones que obstaculizaron su aplicación en otras áreas fue su bajo peso molecular; sin embargo durante los primeros años de la década de 1990, los científicos de Cargill Inc. lograron obtener un PLA de alto peso molecular utilizando una reacción conocida como de apertura de anillo de láctido. En 1997, Cargill Dow LLC, una empresa de Cargill Inc. y The Dow Chemical Company, lograron una producción significativa de PLA con la marca I NatureWorks™. Esto fue algo importante en la historia de este polímero porque inició su producción a gran escala transformándolo de un material de especialidad a un termoplástico *commodity* (Auras et al., 2011).



Figura 3. Monómero de ácido láctico y aplicaciones del PLA.

El incremento de la producción del PLA estimuló el interés en su investigación, que puede ser parcialmente atribuido al escalamiento del movimiento “verde” que favoreció el uso de PBB. El PLA tiene diversas aplicaciones de embalaje como: películas, contenedores de comida, cubiertas, etc., (Figura 3).

Este polímero al disponerlo a condiciones ambientales puede degradarse lentamente en un período de meses a dos años en tanto que los plásticos sintéticos pueden degradarse de

500-1000 años. Por otra parte, a condiciones de compostaje el PLA puede degradarse completamente dentro de 3 a 4 semanas.

En cuanto a sus propiedades, son comparables a los plásticos sintéticos y se puede procesar como los polímeros sintéticos, además es biocompatible. Por ejemplo, una botella de PLA es comparable a una botella de PET (Polietileno tereftalato) en cuanto a sus propiedades mecánicas; con la ventaja que al producir una botella de PLA se consume 36% menos de energía y produce 44% menos de dióxido de carbono que una de PET; por lo tanto el uso de PLA tiene beneficios ambientales (Ncube et al., 2020).

#### 4- Hules naturales

El hule natural (HN) puede ser obtenido directamente de la savia de diversas plantas como el árbol *Hevea Brasiliensis*; sin embargo se sabe que existen 2000 especies de plantas que son capaces de producirlo. Las principales zonas de plantación se encuentran en Brasil, Malasia, Indonesia, Tailandia e India.

El polímero obtenido del *Hevea Brasiliensis* es único ya que en muchas de sus aplicaciones no puede reemplazarse por hules sintéticos. Se obtiene directamente de dicho árbol a través de su savia que se constituye por un látex o líquido lechoso con partículas de HN en suspensión, además de contener proteínas, carbohidratos y lípidos en menor proporción; la coagulación del látex permite la obtención del HN (Vaysse et al., 2012).

El HN pertenece a una familia de polímeros denominados elastómeros, estos tienen la capacidad de recuperar su forma original después de aplicarse un esfuerzo para ser deformado, atribuida a la estructura química característica de esta familia de polímeros. En los elastómeros, las cadenas de polímero suelen encontrarse enrolladas, al aplicar un esfuerzo de tensión tienen la capacidad de poder estirarse y luego regresar a su forma original cuando este desaparece, es decir, cualitativamente se dice que actúan como un resorte pues presentan un comportamiento elástico.

Al HN en el ámbito científico-tecnológico se le conoce como Cis-1,4-poliisopreno donde la estructura de las cadenas de polímero contiene dobles enlaces carbono-carbono (Figura 4) que contribuyen a que tenga la capacidad de comportarse de manera elastomérica (Morton, 1999).

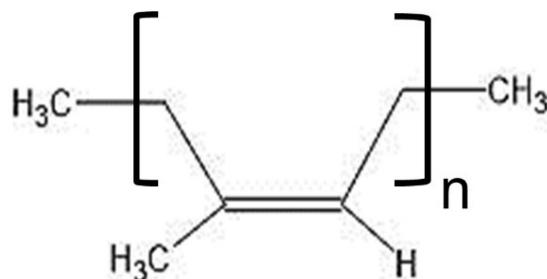


Figura 4. Estructura química del hule natural o del Cis-1,4-poliisopreno.

El HN fue uno de los primeros polímeros de importancia comercial, sus primeras aplica-

ciones datan del siglo XVIII para borrar la escritura del lápiz común; acuñando la palabra en inglés “*rubber*” o en español goma. Posteriormente, fue utilizado como material para impermeabilizar telas, fabricándose los primeros impermeables para lluvia en el siglo XIX. En 1839 el uso del HN como material en los neumáticos se dio gracias al descubrimiento del proceso de vulcanización por Goodyear (Kurt Chiang, 2013); en la vulcanización se produce un entrecruzamiento químico de las cadenas poliméricas del HN y el azufre, restringiendo su movimiento lo que da lugar a un polímero térmicamente más estable, resistente y conservando comportamiento elástico (Kurt Chiang, 2013; Morton, 1999); sin embargo se sabe que las civilizaciones prehispánicas de México tenían un amplio conocimiento de la vulcanización del HN.

Los olmecas (el pueblo del hule) practicaron este proceso que consistía en mezclar el látex del árbol *Castilla elástica* con el jugo de la planta *Iponomea alba* que contiene sulfuros, favoreciendo una reacción de vulcanización. Este conocimiento fue heredado a otras culturas como la maya y la azteca para la fabricación de pelotas de hule. A través de diversas excavaciones se han podido encontrar estas pelotas que datan del año 600 d.C. y fueron utilizadas en ceremonias religiosas y juegos de pelota mesoamericanos (Hosler et al., 1999). Hoy en día sus propiedades se aprovechan tanto para la fabricación de neumáticos, como de mangueras, correas, zapatos, guantes, cuerdas, diversos tipos de espumas, adhesivos, etc. (Vaysse et al., 2012).

En lo que respecta a la investigación científica de los HN, esta se centra en estudiar otras especies como fuentes potenciales: por ejemplo, como el guayule o *Parthenium argentum* para la obtención de látex con aplicaciones médicas o que no produzcan alergias. Otras especies estudiadas son la *Taraxacum kok-saghyz*, *Lactuca sativa*, *Ficus elástica*, *Helianthus annuus* y la mencionada *Castilla elastica* (Venkatachalam et al., 2013). Las ventajas de aprovechar el HN es su producción sostenible y ambientalmente amigable, ya que a diferencia de los hules sintéticos son las plantas quienes fungen como reactores químicos naturales, evitando el uso de monómeros derivados del petróleo.

## 5-Alginatos

El término alginato o algina es utilizado para referirse a las sales del ácido algínico, polisacárido natural presente en las algas que les da elasticidad y resistencia. Las sales de alginatos más comunes son la de magnesio, sodio, estroncio, bario y de calcio; esta última es insoluble en agua.

Los alginatos son copolímeros lineales compuestos de dos tipos de monómeros: el ácido  $\beta$ -D-manurónico (M) y el ácido- $\alpha$ -L-gulurónico (G) estructurados en bloques de homopolímeros (bloques de M y bloques de G), separados por bloques de heteropolímeros (bloques de MG) (Figura 5). La proporción de los monómeros M y G, así como la proporción de los bloques M, G, y MG, varían según la especie del alga (Draget, 2009; Stephen & Phillips, 2016).

La propiedad más notable de los alginatos es su capacidad de formar geles iónicos (Avendaño-Romero et al., 2013) que es aprovechada en la industria alimentaria como espesante, gelificante y estabilizante; en la industria textil como espesante en pastas para teñir textiles; en biotecnología como inmovilizador de agentes catalíticos; en odontología como base para moldes dentales y en la industria farmacéutica en la encapsulación de fármacos (Ayarza, 2014).

La metodología para la obtención de alginatos a partir de algas comienza con el pretratamiento de las plantas secas con formaldehído; posteriormente, son maceradas con ácido clorhídrico para obtener ácido algínico. Entonces, se emplea un tratamiento alcalino con carbonato de sodio para producir alginato de sodio el cual se precipita con alcohol.

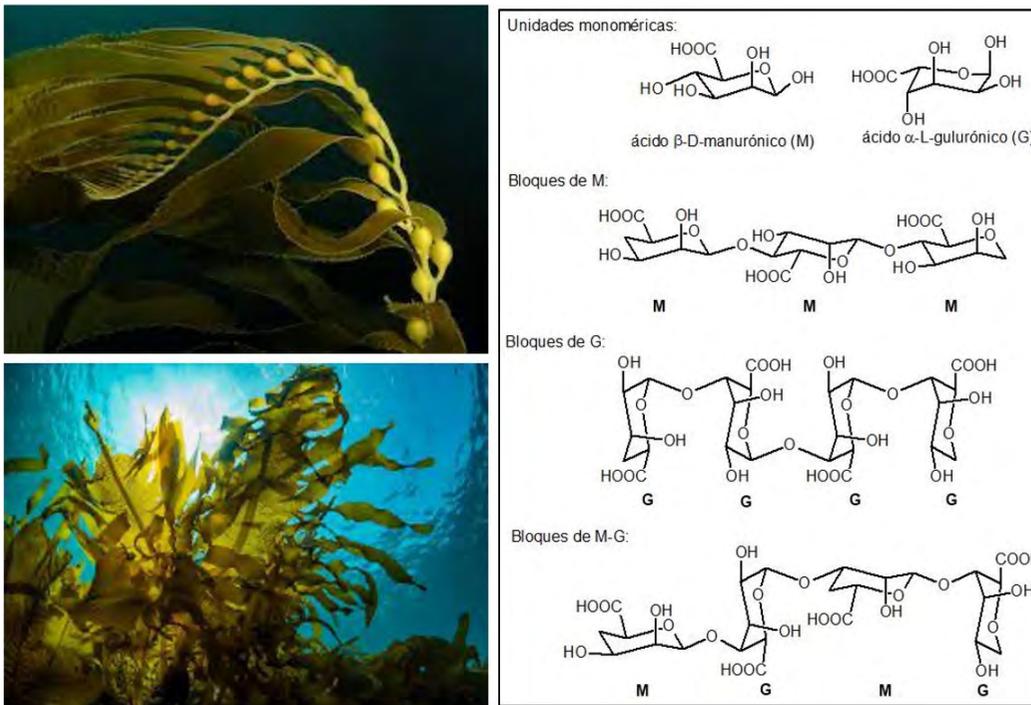


Figura 5. Algas pardas y estructura química del alginato

## Beneficios ambientales asociados con PBB a partir de plantas

### 1- Mitigación del impacto del cambio climático

La disposición inadecuada de residuos lignocelulósicos derivados del procesamiento de alimentos deriva en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), por ello es importante el fomento de sistemas de producción con un enfoque de economía circular para revalorizar este tipo de residuos. En el caso de los MLC, al transformarlos en productos que contribuyan a reducir el uso de recursos forestales como fuente de energía o en la formulación de elementos estructurales a través de materiales compuestos avanzados que aprovechen estos residuos, existe un beneficio importante a través de su valorización.

Otra forma de mitigar el impacto del cambio ambiental es el uso de energías renovables,

sin embargo este tipo de energías necesitan elementos como las baterías y supercapacitores que se utilizan para almacenar energía eléctrica. Una parte fundamental de esos dispositivos son los electrodos; en este sentido, los materiales de carbono derivados de la biomasa han recibido especial atención como materiales activos eficientes, y de bajo costo.

La variedad de precursores de biomasa ofrece la posibilidad de obtener carbones con diferentes propiedades como: la funcionalidad de la superficie, meso- / microporosidad, gran área superficial específica, varios grados de cristalización, etc. (Castro-Gutiérrez et al., 2020; Dubey et al., 2020; Natarajan et al., 2019; Qian et al., 2019; Ratajczak et al., 2019).

En cuanto a los PBB, un análisis de su ciclo de vida, muestra que producen una menor emisión de GEI a diferencia de los fabricados a base de petróleo. Esta diferencia se atribuye al hecho que las plantas absorben dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del aire y lo incorporan a su estructura biomolecular. Suponiendo que los PBB se biodegradan o se incineran al final de su ciclo de vida, el  $\text{CO}_2$  contenido en el material regresa a la atmósfera resultando en un balance cero de carbono; en contraste, cuando los materiales basados en combustibles fósiles son incinerados o se degradan lentamente a  $\text{CO}_2$ , las emisiones resultan en una contribución positiva neta a los GEI (Shogren et al., 2019).

## **2- Reducción de residuos/contaminación.**

Cada año se estima que se producen 140 mil toneladas métricas de biomasa a partir de residuos agroindustriales como cascarilla de arroz, caña de azúcar, etc.; lo que genera serios problemas de contaminación ambiental; sin embargo una alternativa para esto, es la incineración de residuos para la producción de cenizas que se pueden utilizar como materiales cementosos suplementarios (Martirena & Monzó, 2018).

En cuanto a la producción global de plásticos sintéticos, se han incrementado los problemas con su disposición final. Aproximadamente el 40% de estos plásticos se elaboran para aplicaciones de un solo uso como el embalaje; las opciones para su disposición son: rellenos sanitarios, reciclaje, incineración o en vertederos clandestinos a cielo abierto.

Investigadores (Shogren et al., 2019) estiman que para el 2015 el acumulado global total de plásticos generados fue de 6300 tm, del cual sólo el 9% fue reciclado, 12% incinerado y 79% enterrado o dejado en tiraderos clandestinos a cielo abierto (TCCA). Es difícil saber cuánto plástico termina en los TCCA, pero se calcula que de 5-13 millones tm y cerca del 2-4% terminan en el océano (Shogren et al., 2019). Europa y China reciclaron 30 y 35% de sus residuos plásticos, mientras que los Estados Unidos solo el 9% en 2014. De acuerdo a la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC) para mayo de 2020, México presentó una tasa de reciclaje anual del 30%, que representa unas 340,000 toneladas (t) de residuos plásticos (Forbes México, 2020). A pesar de que esta cifra está por encima de otros países, es importante encontrar otras alternativas a los plásticos sintéticos.

Los PBB se presentan como una mejor opción debido a su disposición final, como: el compostaje, la digestión anaerobia, reciclaje, biodegradación ambiental; incluso como alimento para animales (Shogren et al., 2019). En el compostaje, los PBB se pueden mezclar con desechos de jardín, de alimentos vegetales y residuos de papel para su biodegradación. En general, la producción de plásticos sintéticos debe reducirse en la medida de lo posible, sin embargo, los PBB ofrecen una alternativa razonable para su uso como embalaje (Shogren et al., 2019).

### **3- Consumo de menos energía y recursos**

El aprovechamiento de los MLC en la investigación y desarrollo de nuevos materiales representa una alternativa atractiva para la sustitución de polímeros derivados del petróleo, cuyos tiempos de degradación son del orden de cientos de años comparados a los del PBB. Existen varias formas en las cuales los PBB pudieran contribuir a la reducción del uso de energía, a la protección del medio ambiente y conservar los recursos naturales. Una parte importante es el consumo de energía para calefacción y refrigeración de edificios, por lo que encontrar las alternativas para conservar la energía y minimizar las pérdidas es de gran interés: una forma de lograrlo es mediante el desarrollo de materiales aislantes. Tradicionalmente, los aislantes se elaboran a base de poliestireno y espuma de poliuretano cuyo impacto ambiental en sus procesos productivos son significativos.

Existe la necesidad de desarrollar y encontrar materiales aislantes que posean excelentes propiedades con menor impacto ambiental y relativamente baratos; una alternativa es el uso de espigas de cebada, estillas de cáñamo o mazorca de maíz como agregados de concreto para disminuir la conductividad térmica del concreto (Abu-Jdayil et al., 2019; Laborel-Préneron et al., 2018).

En general la cantidad de energía no renovable usada para elaborar PBB es menor que para producir materiales sintéticos (Shogren et al., 2019). También se usan otros recursos como agua y tierra para la producción de materiales a base de petróleo; sin embargo no se consideran a menudo a diferencia de los PBB, en donde si se determinan. Por ejemplo, para el PLA se estima que para producir 1 kg se requieren 1.57 kg de maíz, porque lo que se calcula que se necesitan 22,950 hectáreas (ha) de tierra para producir 150,000 t en la planta NatureWorks. Si se produjeran los 300 millones tm de plásticos sintéticos que se consumen en la actualidad, se necesitarían 46 millones ha de los cultivos suficientes para la obtención de los PBB que los reemplacen, lo que equivale aproximadamente al 1% (4.7 billones ha) del total de la tierra usada para la agricultura a nivel mundial (Shogren et al., 2019).

## **Aplicaciones específicas conocidas de materiales basados en plantas**

### **1- Embalaje**

El embalaje de alimentos juega un importante rol en la preservación de alimentos, ya que protege contra daños y contaminación durante la cadena de distribución; además se debe mantener el balance entre la protección alimenticia y los costos de energía y materiales, aunado a

una mayor conciencia social y ambiental, al cumplir con las regulaciones sobre contaminantes y eliminación de residuos sólidos urbanos. (Rydz et al., 2018).

Los PBB para este sector se dividen en tres grupos de acuerdo con su origen y producción:

*Grupo 1:* Lo constituyen polímeros que son directamente extraídos o removidos de la biomasa; por ejemplo: almidón, celulosa y proteínas (caseína y gluten). Son por naturaleza hidrofílicos (absorben humedad) por lo que su procesamiento presenta problemas, sin embargo presentan excelentes propiedades de barrera a gases adecuado para la industria de alimentos (Mangaraj et al., 2019).

*Grupo 2:* Incluyen materiales poliméricos que se sintetizan durante una reacción de polimerización clásica, con monómeros bio-basados en fuentes renovables como por ejemplo el PLA.

*Grupo 3:* Se producen por microorganismos o bacterias genéticamente modificadas. Este grupo lo conforman principalmente los polihidroxicanoatos, la celulosa bacteriana y otros polisacáridos en desarrollo.

En México la situación de los PBB para embalaje ha estado en desarrollo en los últimos años, tanto en los centros de investigación como en la industria; un ejemplo de ello es la empresa Biofase que a partir de semilla de aguacate produce un bioplástico para la fabricación de diversos artículos biodegradables compostables como: popotes, cubiertos, platos, vasos, contenedores, cepillos de dientes, etc. La materia prima que utilizan es un residuo de la industria del procesamiento de aguacate, principalmente productores de guacamole y pulpa de aguacate empacada (Mendoza Escamilla, 2021).

## 2- Energía

Actualmente el mundo se enfrenta al agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles, por lo que se han implementado diversos compromisos y políticas para mitigarlo; por ejemplo la ONU ha establecido reducir la emisión de GEI del 50 al 80% para el año 2050 (Bogner et al., 2008). Lo anterior implica un cambio de la dependencia de estos hacia fuentes de energía renovables; entre ellas, la biomasa lignocelulósica (BLC) representa una alternativa, la cual es más barata que los combustibles convencionales. La BLC puede utilizarse a través de su combustión directa para producir calor o en la generación de electricidad, sin embargo existen desventajas como su baja eficiencia y la generación de CO<sub>2</sub> (Dhyani & Bhaskar, 2018). Otra manera de utilizar la BLC es en la producción de biocombustibles, como el biodiesel y bioetanol (Dhyani & Bhaskar, 2018); también puede aprovecharse para la generación de gas combustible, aceite y carbón a través de su pirólisis, que involucra un proceso de descomposición térmica en ausencia de oxígeno. El gas y el aceite generados son fuente de energía para la generación de calor y electricidad y el carbón generado es un material que posee mayor poder calorífico que la biomasa de donde se produjo (Basu, 2010; Dhyani & Bhaskar, 2018).

Otro enfoque de este material carbonoso es en su uso como absorbente de luz, por ejem-

plo la luz solar para transformarla en calor.

Los materiales que poseen esta propiedad se les denomina materiales fototérmicos (Gao et al., 2019; Lu et al., 2020), los cuales pueden aprovecharse en la formulación de pinturas o recubrimientos para implementarse en dispositivos termosolares como calentadores residenciales. Los dispositivos de concentración solar transforman la energía proveniente de la luz solar a calor, transfiriéndolo a un fluido, como el agua de un calentador residencial (Atkinson et al., 2015). Estos dispositivos contienen una superficie absorbente que se encarga de realizar la transformación energética para lo cual los materiales carbonosos pueden aprovecharse, con la ventaja que pueden sintetizarse a partir de residuos de bajo costo, obteniendo materiales fototérmicos renovables y ambientalmente amigables en comparación con las pinturas comerciales, los cuales como el uso de solventes y pigmentos ocasiona cierto impacto ambiental.

### **3- Salud**

El uso de polímeros provenientes de MLC puede representar el futuro para el desarrollo de materiales con aplicaciones para el campo de la salud. Entre estos MLC, la celulosa, debido a su estructura jerárquica y semicristalina al modificarse puede generar productos con características útiles para el área de la salud; por ejemplo mediante el empleo de esfuerzos mecánicos se pueden obtener microfibras (microcelulosa).

Este material tiene una larga historia de uso en la industria farmacéutica, es empleado generalmente como excipiente para que los comprimidos cargados con fármaco, formen materiales funcionales durante la administración oral de medicamentos. También pueden emplearse para el diseño de comprimidos en dosis de liberación controlada de fármaco, especialmente si se considera el uso de nanocelulosa cristalina (la fracción cristalina de la celulosa en tamaños nanométricos); del mismo modo el empleo de nanocelulosa mezclada con otros polímeros (materiales compuestos o biocompuestos) se ha extendido en aplicaciones biomédicas para la fabricación de andamios.

Los materiales compuestos con nanocelulosa pueden diseñarse para satisfacer los requerimientos al emplearse en aplicaciones como: reemplazo de piel con quemaduras y heridas, andamios para el crecimiento de vasos sanguíneos, nervios, huesos y encías; estos andamios inducen la adhesión celular, proliferación, migración y funcionamiento de las células de los tejidos a reparar (Kalia et al., 2011).

### **4- Industria automotriz**

Los serios problemas relacionados con el cambio climático en los últimos años han provocado que los fabricantes de automóviles desarrollen materiales compuestos innovadores para reducir el consumo de combustible; también, existe la preocupación del destino final de los materiales plásticos que forman parte de los automóviles. En este sentido, la industria automotriz ha incluido el uso de biocompuestos en el diseño de automóviles para contribuir a la biodegradabilidad de los materiales y la sustentabilidad.

La celulosa es un material comúnmente empleado para producir materiales plásticos que presentan propiedades como bajo costo y peso que a la larga permite una reducción de la contaminación del aire. Las fibras naturales como el lino, sisal, yute, cáñamo y madera también se emplean en aplicaciones automotrices como paneles interiores y de puertas (Agarwal et al., 2020).

## **Conclusión**

Los biopolímeros pueden originarse de derivados del petróleo, de plantas o ser de origen sintético. En el caso de los polímeros obtenidos de plantas, tienen múltiples aplicaciones, como se pudo observar en el presente capítulo, teniendo la ventaja de estar dentro de los biodegradables. Estos sustituirán poco a poco otro tipo de materiales como los contenedores plásticos que son a la fecha, una de las preocupaciones a nivel mundial debido a la contaminación y el tema de los microplásticos.

## **Agradecimientos**

Al Programa de Estancias posdoctorales para Mujeres Mexicanas Indígenas en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas del Conacyt-CIESAS (Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social)-IDRC (Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, por sus siglas en inglés).

## Referencias

- Abu-Jdayil, B., Mourad, A. H., Hittini, W., Hassan, M., & Hameedi, S. (2019). Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview. In *Construction and Building Materials* (Vol. 214, pp. 709–735). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.102>
- Agarwal, J., Sahoo, S., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2020). Progress of novel techniques for lightweight automobile applications through innovative eco-friendly composite materials: A review. In *Journal of Thermoplastic Composite Materials* (Vol. 33, Issue 7, pp. 978–1013). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/0892705718815530>
- Atkinson, C., Sansom, C. L., Almond, H. J., & Shaw, C. P. (2015). Coatings for concentrating solar systems – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 113–122. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.01.015>
- Auras, R., Lim, L., Selke, S., & Tsuji, H. (2011). *Poly (lactic acid): synthesis, structures, properties, processing, and applications*. John Wiley & Sons.
- Avendaño-Romero, G. C., López-Malo, A., & Palou, E. (2013). Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 1, 87–96. [https://www.academia.edu/download/46178354/ALGINATOS\\_1.pdf](https://www.academia.edu/download/46178354/ALGINATOS_1.pdf)
- Ayarza, J. (2014). Los alginatos: 20000 usos de las algas submarinas. *Revista de Química PUCP*, 28(12), 379–395. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/10413>
- Ballesteros, L. F., Michelin, M., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., & Cerqueira, M. Â. (2018). *Lignocellulosic Materials and Their Use in Bio-based Packaging*. Springer International Publishing.
- Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Elsevier Science.
- Benninga, H. (1990). A History of Lactic Acid Making: A Chapter in the History of Biotechnology . H. Benninga. In .Springer Science & Business Media (Ed.), *Springer Science & Business Media* (Vol. 83, Issue 4). <https://doi.org/10.1086/356349>
- Bogner, J., Pipatti, R., Hashimoto, S., Diaz, C., Mareckova, K., Diaz, L., Kjeldsen, P., Monni, S., Faaij, A., Gao, Q., Zhang, T., Ahmed, M. A., Sutamihardja, R. T. M., & Gregory, R. (2008). Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation). *Waste Management & Research*, 26(1), 11–32. <https://doi.org/10.1177/0734242X07088433>
- Castro-Gutiérrez, J., Celzard, A., & Fierro, V. (2020). Energy Storage in Supercapacitors: Focus on Tannin-Derived Carbon Electrodes. *Frontiers in Materials*, 7. <https://doi.org/10.3389/FMATS.2020.00217/FULL>
- Dhyani, V., & Bhaskar, T. (2018). A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. *Renewable Energy*, 129, 695–716. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.035>
- Draget, K. I. (2009). Alginates. In *Handbook of Hydrocolloids: Second Edition* (pp. 807–828). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.807>
- Dubey, P., Shrivastav, V., Maheshwari, P. H., & Sundriyal, S. (2020). Recent advances in biomass derived activated carbon electrodes for hybrid electrochemical capacitor applications: Challenges and opportunities. In *Carbon* (Vol. 170, pp. 1–29). <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.07.056>
- Ebewele, R. O. (2000). Polymer science and technology. In *Polymer Science and Technology*. CRC Press LLC. [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(95\)90127-2](https://doi.org/10.1016/0261-3069(95)90127-2)
- Estrada-León, R. J., Moo-Huchin, V. M., Ríos-Soberanis, C. R., Betancur-Ancona, D., May-Hernández, L. H., Carrillo-Sánchez, F. A., Cervantes-Uc, J. M., & Pérez-Pacheco, E. (2016). The effect of isolation method on properties of parota (*Enterolobium cyclocarpum*) starch. *Food Hydrocolloids*, 57, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.008>
- Forbes México. (2020). *México recicla 340 mil toneladas de residuos plásticos al año: ANIPAC*. <https://www.forbes.com.mx/negocios-reciclaje-340-mil-toneladas-anipac/>
- Gao, M., Zhu, L., Peh, C. K., & Ho, G. W. (2019). Solar absorber material and system designs for photothermal water vaporization towards clean water and energy production. *Energy & Environmental Science*, 12(3), 841–864. <https://doi.org/10.1039/C8EE01146J>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Scien-*

- ce *Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Hernández-Beltrán, J. U., Hernández-De Lira, I. O., Cruz-Santos, M. M., Saucedo-Luevanos, A., Hernández-Terán, F., & Balagurusamy, N. (2019). Insight into Pretreatment Methods of Lignocellulosic Biomass to Increase Biogas Yield: Current State, Challenges, and Opportunities. *Applied Sciences*, 9(18). <https://doi.org/10.3390/app9183721>
- Hosler, D., Burkett, S. L., & Tarkanian, M. J. (1999). Prehistoric Polymers: Rubber Processing in Ancient Mesoamerica. *Science*, 284(5422), 1988–1991. <https://doi.org/10.1126/science.284.5422.1988>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kalia, S., Dufresne, A., Cherian, B. M., Kaith, B. S., Avérous, L., Njuguna, J., & Nassiopoulos, E. (2011). Cellulose-based bio- and nanocomposites: A review. In *International Journal of Polymer Science* (Vol. 2011). <https://doi.org/10.1155/2011/837875>
- Kurt Chiang, C. C. (2013). *Natural Rubbers Byosynthesis: Perspectives from Polymer Chemistry*. University of Akron.
- L. Reynoso, S. (2018). *Polímeros plásticos: los conceptos básicos que debes conocer durante y al salir de la universidad*. Independently published.
- Laborel-Préneron, A., Magniont, C., & Aubert, J. E. (2018). Characterization of Barley Straw, Hemp Shiv and Corn Cob as Resources for Bioaggregate Based Building Materials. *Waste and Biomass Valorization*, 9(7), 1095–1112. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9895-z>
- Lu, Y., Wang, X., Fan, D., Yang, H., Xu, H., Min, H., & Yang, X. (2020). Biomass derived Janus solar evaporator for synergic water evaporation and purification. *Sustainable Materials and Technologies*, 25, e00180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00180>
- Mangaraj, S., Yadav, A., Bal, L. M., Dash, S. K., & Mahanti, N. K. (2019). Application of Biodegradable Polymers in Food Packaging Industry: A Comprehensive Review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 3(1), 77–96. <https://doi.org/10.1007/s41783-018-0049-y>
- Martirena, F., & Monzó, J. (2018). Vegetable ashes as Supplementary Cementitious Materials. In *Cement and Concrete Research* (Vol. 114, pp. 57–64). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.015>
- Mendoza Escamilla, V. (2021). *Biofase, bioplástico de hueso de aguacate contra la contaminación*. Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/30-promesas-2021-emprendedores-biofase-hueso-aguacate-bioplastico/>
- Moo-Huchin, V. M., Ac-Chim, D. M., Chim-Chi, Y. A., Ríos-Soberanis, C. R., Ramos, G., Yee-Madeira, H. T., Ortiz-Fernández, A., Estrada-León, R. J., & Pérez-Pacheco, E. (2020). Huaya (*Melicoccus bijugatus*) seed flour as a new source of starch: physicochemical, morphological, thermal and functional characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(6), 3299–3309. <https://doi.org/10.1007/S11694-020-00573-3>
- Morton, M. (1999). Introduction to Polymer Science. In M. Morton (Ed.), *Rubber Technology* (pp. 1–19). Springer, Dordrecht.
- Natarajan, S., Lee, Y. S., & Aravindan, V. (2019). Biomass-Derived Carbon Materials as Prospective Electrodes for High-Energy Lithium- and Sodium-Ion Capacitors. In *Chemistry - An Asian Journal* (Vol. 14, Issue 7, pp. 936–951). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/asia.201900030>
- Ncube, L. K., Ude, A. U., Ogunmuyiwa, E. N., Zulkifli, R., & Beas, I. N. (2020). Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. In *Materials* (Vol. 13, Issue 21, pp. 1–24). Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/ma13214994>
- Pech Cohuo, S. C. (2013). *Evaluación de la resistencia interfacial al cortante en materiales compuestos con residuos de madera de pino y HDPE expuestos a absorción-desorción de humedad*. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Pech Cohuo, S. C. (2018). *Obtención y modificación de nanocristales de celulosa de residuos de Agave tequilana Weber para la producción de nanorefuerzos para Poli(ácido láctico)*. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

- Pérez-Pacheco, E., Moo-Huchin, V. M., Estrada-León, R. J., Ortiz-Fernández, A., May-Hernández, L. H., Ríos-Soberanis, C. R., & Betancur-Ancona, D. (2014). Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds. *Carbohydrate Polymers*, *101*(1), 920–927. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.012>
- Qian, M., Xuan, X. Y., Pan, L. K., & Gong, S. Q. (2019). Porous carbon electrodes from activated wasted coffee grounds for capacitive deionization. *Ionics*, *25*(7), 3443–3452. <https://doi.org/10.1007/s11581-019-02887-9>
- Ratajczak, P., Suss, M. E., Kaasik, F., & Béguin, F. (2019). Carbon electrodes for capacitive technologies. In *Energy Storage Materials* (Vol. 16, pp. 126–145). <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2018.04.031>
- Rui, L., Xie, M., Hu, B., Zhou, L., Saeeduddin, M., & Zeng, X. (2017). Enhanced solubility and antioxidant activity of chlorogenic acid-chitosan conjugates due to the conjugation of chitosan with chlorogenic acid. *Carbohydrate Polymers*, *170*, 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.076>
- Rydz, J., Musioł, M., Barbara, Węgrzyńska, Z., & Sikorska, W. (2018). Present and future of biodegradable polymers for food packaging applications. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Elsevier Academic Press*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2016-0-00686-1>
- Shogren, R., Wood, D., Orts, W., & Glenn, G. (2019). Plant-based materials and transitioning to a circular economy. In *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 19, pp. 194–215). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.04.007>
- Stephen, A. M., & Phillips, G. O. (2016). Alginates. In *Food Polysaccharides and Their Applications* (2nd Editio, pp. 303–348). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420015164-14>
- USDA. (2020). *Sustainable Agriculture Program | National Institute of Food and Agriculture*. <https://nifa.usda.gov/program/sustainable-agriculture-program>
- Vaysse, L., Bonfils, F., J, S.-B., & Cartault, M. (2012). Natural Rubber. In K. Matyjaszewski & M. Möller (Eds.), *Polymer Science: A Comprehensive Reference* (pp. 281–293). Elsevier BV.
- Venkatachalam, P., Geetha, N., Sangeetha, P., & Thulaseedharan, A. (2013). Natural Rubber Producing Plants: An overview. *African Journal of Biotechnology*, *12*(12), 1297–1310.
- Vink, E. T. H., & Davies, S. (2015). Life Cycle Inventory and Impact Assessment Data for 2014 Ingeo® Polylactide Production. *Industrial Biotechnology*, *11*(3), 167–180. <https://doi.org/10.1089/ind.2015.0003>
- Visakh, P. M., Mathew, A. P., & Thomas, S. (2013). Natural polymers: Their blends, composites and nanocomposites: State of art, new challenges and opportunities. In *Advances in natural polymers* (Vol. 18, pp. 1–20). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20940-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20940-6_1)
- Yu, L., Liu, X., Petinakis, E., Dean, K., & Bateman, S. (2013). Starch based blends, composites and nanocomposites. In *Advances in natural polymers* (Vol. 18, pp. 121–154). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20940-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20940-6_4)

## Capítulo 11

### ¿Sabías qué? : te contamos datos interesantes sobre plantas

Pacheco, Neith,<sup>1</sup> Ayora-Talavera, Teresa,<sup>1</sup> Cruz-García, Ulises,<sup>2</sup> Santillán-Fernández, Alberto,<sup>3</sup> Garruña, René,<sup>4</sup> Cuevas-Bernardino, Juan C.<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Sub-sede Sureste, Tablaje Catastral 31264 km 5.5 Carr. Sierra Papacal-Chuburná puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, CP 97302, Mérida, Yucatán, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, Antigua Carretera a Progreso km 6, Col. Cordomex, CP 97310, Mérida, Yucatán, México.

<sup>3</sup>CONACYT-Colegio de Postgraduados, Campus Campeche, Sihochac, CP 24450, Champotón, Campeche, México.

<sup>4</sup>CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n Conkal, CP 97345, Conkal, Yucatán, México.

<sup>5</sup>CONACYT-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Sub-sede Sureste, Tablaje Catastral 31264 km 5.5 Carr. Sierra Papacal-Chuburná puerto, Parque Científico Tecnológico de Yucatán, CP 97302, Mérida, Yucatán, México.

\*Autor de correspondencia: jcuevas@ciatej.mx

**Palabras clave:** Antinutrientes, árbol de Ramón, autofluorescencia, plantas acuáticas, plantas carnívoras.

## Introducción

Desde tiempos antiguos, varios personajes importantes de la historia se interesaron en datos curiosos de plantas, por ejemplo Leonardo da Vinci escribió en su cuaderno de trabajo que todas las ramas de un árbol en cada etapa de su crecimiento cuando se juntan tienen el mismo grosor que el tronco, mientras que otros personajes fueron inspirados en ciertas curiosidades de plantas (*Victoria amazonica*, *Alsomitra macrocarpa*, *Nelumbo nucifera*) para diseñar estructuras modernas o patentar desarrollos tecnológicos (Speck & Speck, 2021).

La gran diversidad de plantas que habitan nuestro planeta nos lleva a cuestionarnos sobre los diversos datos o curiosidades que se presentan en dichas especies, desde conocer los diferentes géneros y especies hasta los mecanismos de adaptación que han perfeccionado durante el paso del tiempo. Se tiene bien documentado que las plantas presentan fascinantes mecanismos para sobrevivir y coexistir en condiciones ambientales extremas, esto debido a las adaptaciones morfo-anatómicas desarrolladas a través de la evolución; por ejemplo hay evidencias de condiciones de salinidad y deficiencia de nutrientes (potasio nitrógeno) que afectan a la mayoría de las plantas en su crecimiento, productividad y metabolismo; sin embargo hay otros reportes de ciertas especies que pueden tolerar estas condiciones abióticas (Hafsi et al., 2021;

Maatallah, Zribi, Salhi, Abdelly, & Barhoumi, 2021).

Algunas plantas pueden exhibir mecanismos de defensas contra insectos herbívoros, pero debido a que los insectos pueden migrar rápidamente de diversos ecosistemas, esto es una desventaja para las plantas nativas, ya que pueden tener limitaciones en adaptación con los nuevos depredadores (insectos herbívoros); un ejemplo es el escarabajo del pino de la montaña (*Dendroctonus ponderosae*) causante de la mortalidad masiva de bosques de pinos a lo largo de 71,000 km<sup>2</sup> en el oeste de los Estados Unidos (Hamann et al., 2021).

En ciertos países, debido a datos interesantes de ciertas plantas, se ha centrado la atención sobre la alfabetización botánica en la educación infantil (conocimientos y actitudes hacia las plantas), lo que implica el desarrollo del conocimiento y la curiosidad sobre el mundo increíble de las plantas, así como la formulación de preguntas sobre ellas y con ello se puede impulsar el pensamiento crítico-ético sobre estas especies y sus entornos (Beasley, Lee-Hammond, & Hesterman, 2021). Por todo lo anterior, el objetivo del presente capítulo es proporcionar algunos datos o curiosidades sobre algunas especies de plantas, con el fin motivar a los lectores a adentrarse en el maravilloso mundo del reino de las plantas.

El presente capítulo presenta algunos datos interesantes del fascinante mundo de las plantas, desde curiosidades básicas sobre la fotosíntesis hasta datos más específicos como el color en las plantas, la gama de colores que reflejan las hojas, los pigmentos y la variación de color entre hojas; además, se presentan los mecanismos que utilizan algunas especies acuáticas para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados o compuestos tóxicos tales como: fitoextracción, fitoestabilización, fitovolatilización y rizofiltración. También en términos de plantas mexicanas, se indican algunos datos y usos del árbol de Ramón por la cultura Maya; finalmente se señalan otros datos interesantes del reino Plantae tales como: cristales de oxalato de calcio como mecanismo de protección contra herbívoros, las naftoquinonas de las plantas carnívoras, compuestos fluorescentes como señales en la biocomunicación y factores antinutricionales. Estos datos interesantes dan la pauta para que personas de todas las edades puedan seguir investigando y descubriendo el asombroso y sorprendente mundo de las plantas.

## **El color de las plantas y los pigmentos fotosintéticos**

A pesar de que las plantas tienen una amplia gama de colores en sus diversos órganos, generalmente se les relaciona con el color verde, debido a que es el color característico de las hojas y por lo tanto el más abundante en sitios con vegetación.

Entonces, surge la pregunta *¿por qué las plantas son verdes?* Ante este cuestionamiento la mayoría de las personas creen que se debe a que las plantas absorben el color verde, pero en

realidad se debe al efecto contrario, es decir, las plantas son verdes porque no pueden absorber el color verde y consecuentemente lo reflejan (Figura 1).

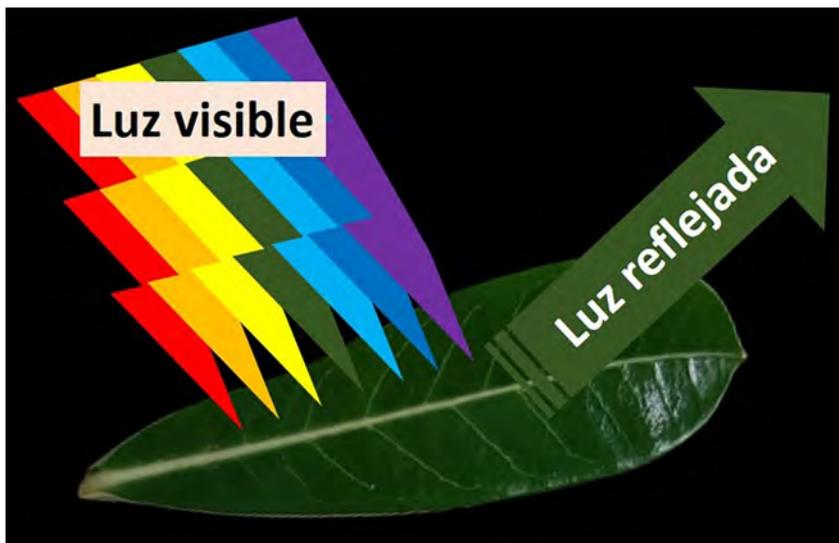


Figura 1. Esquema de una hoja que recibe luz visible y refleja en el rango del color verde, dando así el color verde a la hoja.

Pero, *¿de dónde viene esa gama de colores que reflejan las hojas de las plantas?*, pues vienen de la luz visible; se le llama espectro visible o luz visible a la radiación electromagnética que el ojo humano es capaz de distinguir y clasificar en colores. Este espectro va aproximadamente de los 400 a los 700 nanómetros, es decir, abarca los colores que podemos ver en un arcoíris; desde el color rojo hasta el violeta, los cuales generalmente apreciamos en conjunto como luz blanca. Pero, cuando la luz blanca choca sobre los objetos, estos absorben algunas longitudes de onda y reflejan otras, dando la impresión de tener un color en específico, pero en realidad lo que vemos es la longitud de onda que está siendo reflejada por los pigmentos de ese objeto y de esa manera le asignamos un color (Whiting, Roll, & Vickerman, n.d.).

Entonces, *¿las plantas tienen pigmentos?*: Las plantas al igual que todos los organismos vivos están compuestas por unidades microscópicas llamadas células; estas células se componen por diversos organelos capaces de realizar funciones específicas en beneficio de la planta. Uno de los organelos más importantes en la célula vegetal son los cloroplastos que se caracterizan principalmente por tener dentro de su estructura a las clorofilas que son las moléculas que ocasionan que las plantas sean de color verde, incluso la palabra clorofila deriva de los vocablos griegos: “chloros” que significa verde y “fýlon” que significa hoja.

Las clorofilas son clasificadas como pigmentos fotosintéticos, es decir, debido a sus características bioquímicas pueden capturar la luz visible, lo cual es fundamental en organismos autótrofos cuya característica es la elaboración de su propia fuente de alimentos, como por ejemplo las plantas. En este sentido, las plantas por medio de las clorofilas son capaces de cap-

turar dos diferentes zonas del espectro de luz visible; los espectros situados en el azul y en el rojo, mientras que las longitudes de onda situadas en el rango del color verde son reflejadas por las hojas, por lo que los colores en el rango del verde se vuelven predominantes en las plantas (Nishio, 2000).

*¿Por qué algunas hojas son más verdes que otras?:*

Esto se debe a la necesidad de la planta por capturar más o menos luz, según sus necesidades. Por ejemplo, si tenemos dos plantas de la misma especie, pero una la ponemos en la sombra y otra en el sol, con el paso de los días el color verde de las hojas de la planta en sombra será más intenso (verde oscuro), mientras que las hojas de la planta en sol será un verde más claro (Figura 2). Esto se debe a que la planta que está en la sombra acumula una mayor cantidad de clorofilas para poder capturar la poca luz que hay en el sitio y poder llevar a cabo la fotosíntesis, mientras que la planta que está en el sol directo no necesita acumular tanta clorofila porque recibe de manera directa la luz (Marschall & Proctor, 2004).



Figura 2. Coloración de hojas de *Adenium obesum* cultivadas en diferentes condiciones ambientales, en sombra, media sombra y expuesta en sol directo (Foto: René Garruña).

*¿Por qué no todas las plantas son verdes?*

Si bien es cierto que el verde es el color que se asocia siempre con plantas o con la vegetación, es evidente que varias partes de las plantas son de otros colores, incluso hay plantas que no tienen hojas verdes o el verde es menos predominante (Figura 3) y esto se debe a que

además de las clorofilas las plantas tienen otros pigmentos que capturan y reflejan en diferentes longitudes de onda. En este caso se les conoce como pigmentos accesorios porque pueden ayudar a capturar luz en longitudes donde las clorofilas no pueden.



**Figura 3.** Hojas del género *Caladium*, con variación en su cloración debido a las diferentes concentraciones de pigmentos en sus cloroplastos (Foto: René Garruña).

¿Cuáles son los pigmentos accesorios que puede haber en las plantas?

Los carotenoides son pigmentos orgánicos, conocidos como pigmentos accesorios, su función principal en las plantas es capturar luz en longitudes de onda distintas a las clorofilas; generalmente los diferentes tipos de carotenoides capturan la luz en el rango de los colores ultravioleta, violeta y azul; por lo tanto reflejan colores que van desde el amarillo hasta el rojo (Cazzonelli & Cazzonelli, 2011). Fisiológicamente los carotenoides contribuyen junto con las clorofilas en la captura de la luz para dar inicio al proceso de la fotosíntesis en las plantas (Figura 4).



**Figura 4.** Hojas de *Celosia argentea* var. *Plumosa*, cuya característica principal es la pigmentación de sus hojas con un color rojo-vino al ir madurando (Foto: René Garruña).

**¿Qué es la fotosíntesis?**

La fotosíntesis es un proceso vital, en el cual ciertos organismos son capaces de producir su propio alimento con base en la síntesis de moléculas energéticas a partir de la energía lumínica. En el caso específico de las plantas los pigmentos capturan los fotones provenientes

de la energía lumínica y la utilizan para iniciar un proceso bioquímico basado en reacciones de óxido-reducción para generar moléculas energéticas (ATP: adenosín trifosfato; NADPH: Nicotiamida-Adenina Dinucleotido fosfato) que son utilizadas para formar estructuras más complejas en forma de hidratos de carbono (azúcares de seis carbonos).

La fotosíntesis es considerada uno de los procesos más importantes para que se pueda llevar a cabo la vida en el planeta tierra. Es tan importante que sin fotosíntesis no existirían las plantas y sin plantas no habría fuente de alimento para todas las especies de animales que dependen de ellas. Hay que puntualizar que todo el proceso de la fotosíntesis se lleva a cabo en los cloroplastos y no podría ser posible sin la presencia de los pigmentos, sobre todo de las clorofilas. Por lo tanto, esa sensación de alivio y bienestar que genera la diversidad de colores de las plantas tiene un trasfondo científico, pues inconscientemente de manera natural las personas asocian que existe una relación entre el equilibrio ambiental y las plantas con la aportación de sus diversos colores.

### **Las “plantas acuáticas” en el tratamiento de aguas contaminadas**

En la naturaleza existen grupos de plantas acuáticas, que poseen ciertas capacidades especiales para atrapar o transformar metales o compuestos que son tóxicos para la flora y la fauna, esta propiedad ha sido aprovechada por el hombre para seleccionar y optimizar su uso en cuerpos de agua contaminados como una medida de tratamiento para remover sustancias peligrosas.

Conforme ha avanzando el conocimiento en la fitorremediación por plantas acuáticas, se ha descubierto que se valen de diferentes mecanismos para remover o eliminar las sustancias contaminantes. Entre estos mecanismos (Figura 5) están la fitoextracción o fitoacumulación que es cuando la planta adsorbe algún compuesto o elemento contaminante del agua. En el caso de la fitoestabilización (Figura 5a), la planta restringe el movimiento de algún contaminante, atrapándolo y con esto evitando que se disperse. En la fitovolatilización (Figura 5b), la planta es capaz de metabolizar o transformar un compuesto en una molécula volátil que no es peligrosa al ambiente la cual es liberada a través de las hojas y, por último, tenemos el mecanismo de la rizofiltración (Figura 5b); este último mecanismo se lleva a cabo principalmente en las raíces, las cuales son las encargadas de llevar a cabo la absorción y adsorción de los contaminantes presentes en los ambientes hídricos (Delgadillo-López, González-Ramírez, Prieto-García, Villagómez-Ibarra, & Acevedo-Sandova, 2011).

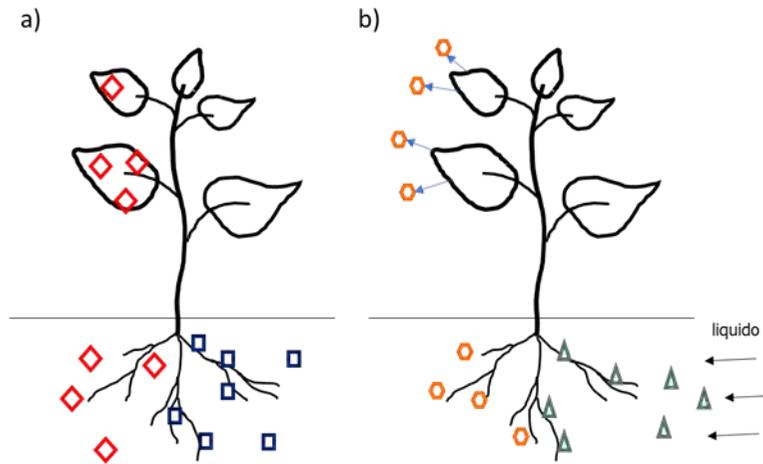


Figura 5. Mecanismos utilizados por las plantas acuáticas durante la fitorremediación. a) fitoextracción (◈) y fitoestabilización (■). b) fitovolatilización (●) y rizofiltración (▲).

Gracias a estos mecanismos las plantas acuáticas tienen la capacidad de eliminar una amplia variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas que son catalogadas como sustancias contaminantes, empleando uno o varios de estos mecanismos para la biodegradación de un mismo tipo de compuesto (Figura 6). Es por esto que las plantas acuáticas juegan un papel muy importante en la descontaminación de cuerpos de agua (Prasad, 2007).

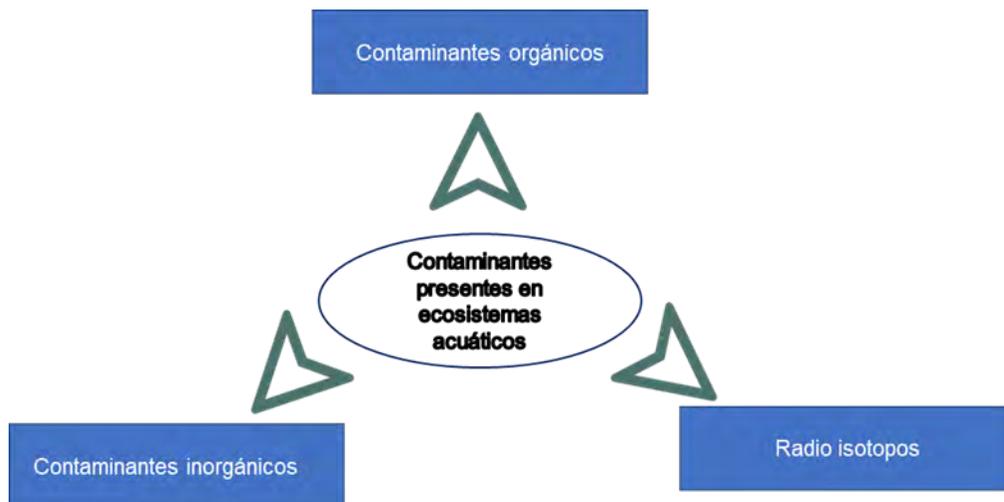


Figura 6. Principales contaminantes degradados por plantas acuáticas en humedales.

Tales son algunos ejemplos de compuestos y elementos inorgánicos que las plantas acuáticas pueden adsorber que son esenciales tanto para las plantas (B, Cu, Fe, Mn y Mo) como animales (As, Co, Fe, Mn, Zn, Cr, F, Ni, Se, Sn y V), los cuales bajo ciertas condiciones se pueden encontrar en exceso en los cuerpos de agua, por otra parte, también tienen la capacidad de atrapar el cadmio, mercurio, vanadio y cianuro que son considerados entre las sustancias más peligrosas por sus propiedades fisicoquímicas. En cuanto a las plantas acuáticas que pueden

atrapar estos elementos están los helechos de agua, hisopo de agua, algas, jacinto de agua y la centella asiática entre otras (Delgadillo-López et al., 2011). Por esta razón es que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria minera (Ali et al., 2020).

Con respecto a los compuestos orgánicos, las plantas acuáticas pueden degradar una amplia variedad de estos gracias a las enzimas que pueden liberar en la raíz, lo que ayuda a transformar el contaminante en sustancias menos peligrosas para la flora y la fauna del lugar. Entre estas sustancias contaminantes destacan los pesticidas, aromáticos clorados, retardantes de flama, explosivos e hidrocarburos aromáticos. Actualmente se sabe que son muchas las plantas acuáticas que tienen la capacidad de transformar este tipo de sustancias, algunos ejemplos son el plátano de agua, algunas algas, rizos de agua, castaña de agua, pluma de loro y loto sagrado (Prasad, 2007).

Otra capacidad que tienen las plantas acuáticas es que pueden servir como bioindicadores de contaminantes; se sabe que algunas plantas acuáticas mejor conocidas como macrófitas flotantes presentan una estrecha relación entre la calidad del agua y la presencia de ciertos contaminantes, es por eso que se pueden usar para evaluar la concentración y el impacto de las sustancias contaminantes presentes en plantas de tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria agrícola, química y minera (Prasad, 2007).

En este sentido las plantas acuáticas juegan un papel muy importante en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que actualmente en estos procesos se incluye la construcción de humedales sintéticos para mejorar la limpieza del agua, en donde aparte de las propiedades antes mencionadas, las plantas acuáticas presentan en estos sistemas una gran concentración de biomasa lo que ayuda a incrementar la sedimentación de sólidos y a inmovilizar contaminantes del agua; por otra parte también la oxigenan, lo que favorece la biorremediación por microorganismos ayudando a la limpieza o purificación del agua (Delgadillo-López et al., 2011; Prasad, 2007).

En pocas palabras la aplicación de plantas acuáticas para el tratamiento de agua contaminada con diferentes compuestos tóxicos se reconoce como una fitotecnología que presenta grandes beneficios al ambiente ya que no genera residuos peligrosos, es de bajo costo de operación y conserva los recursos naturales, lo que la hace una tecnología muy sustentable con grandes beneficios al habitat y que se puede aplicar a procesos de biofiltración, suspensión y sedimentación de sólidos y degradación de hidrocarburos y fijación de metales.

### **El Ramón: ¿La nuez Maya o el maíz de los Mayas?**

¿Sabías que la Cultura Maya en el sureste de México cultivó y consumió el fruto del árbol *Brosimum alicastrum* o mejor conocido como Ramón? por lo que es muy común localizar ejemplares de este árbol cerca o sobre ruinas Mayas (Figura 7).

El árbol Ramón llega a producir en una sola hectárea alrededor de 20 toneladas de semillas al año, las cuales pueden ser una alternativa viable de alimentación, reduciendo con ello el consumo de maíz. Por esta razón, se le conoce como nuez Maya o el maíz de los Mayas, ya que en periodos de hambruna los Mayas consumieron las semillas de este árbol.



Figura 7. Plantas de *Brosimum alicastrum* sobre ruinas arqueológicas Mayas.

Te contamos algunos datos interesantes de este árbol:

- Árbol perenne que puede medir más de 30 metros de altura y su tronco alcanza hasta 10 metros de diámetro.
- Es un sumidero de carbono con gran capacidad para absorber contaminantes de la atmósfera.
- Su follaje, siempre verde, generoso con el medio ambiente, es uno de sus principales atributos.
- Su forraje natural sirve de base alimenticia para las faunas originarias y criollas mexicanas.
- Sus raíces son profundas y fuertes, lo que le permite soportar fenómenos naturales como huracanes.
- También se pueden ser útil para producir biocombustibles para la generación de energía.

Bajo la sombra de árboles masculinos, que llegan a medir hasta 45 metros de alto, se ha documentado gran diversidad de plántulas de otros árboles, como el chicle y el palo mulato, así como diversos arbustos, lo que indica que puede coexistir con otras especies. Por ser un árbol

de madera densa y lento crecimiento es apto para usarse en los programas de venta de captura (o bonos) de bióxido carbono (Figura 8).



Figura 8. Etapas de germinación de semillas de árbol de Ramón.

Es un árbol originario de Mesoamérica y el Caribe con amplia distribución en México (Peters & Pardo-Tejeda, 1982) y se le conoce con diferentes nombres, en diversas lenguas y estados de México: A-agl (tepehuano), Ash (tzeltal), Hairi y Hairi-te (huichol), Jauri (cora), Juk-sapuo, Jushapu y Mojcuji (totonaca y popoluca); Lanfe-lá y Tunumi-taján (chontal y mixteco); Ox (maya), Tlatlacotic (náhuatl), Apomo (Sinaloa), Ax (Tabasco y Veracruz); Capomo (Colima, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa y Veracruz); Huje y Huji (Michoacán); Juan Diego, Nazareno y Samaritano (Oaxaca); Moho, Mojú, Osh, Ash y Talcoite (Chiapas); Mojote (Colima); Ojoche (Veracruz), Ramón (Oaxaca, Campeche, Yucatán y Quintana Roo); Oshté, Ojosh y Oxit-le (San Luis Potosí); Ojite (Veracruz, Tamaulipas y Oaxaca) (Figura 9).

La semilla del árbol Ramón es una fuente importante de aminoácidos y complementa las carencias en la dieta basada en maíz, típica de México. También es rica en fibra, calcio, potasio, ácido fólico, vitaminas A, B y C; así como en triptófano, un relajante natural. La savia lechosa diluida puede usarse como sustituto de la leche debido a su agradable sabor y solubilidad en agua. Además, se utiliza para estimular la producción de leche en mujeres con bebés lactantes; los extractos de los frutos también se pueden usar para lo mismo.



Figura 9. Hojas y fruto de árbol de Ramón.

### Algunos de sus usos son:

- Para combatir enfermedades: Sus hojas y corteza se usan como tónicos y tratamientos para combatir enfermedades como asma, diabetes, tuberculosis y bronquitis, por mencionar algunas.
- Como forraje: Hojas, tallos, frutos y semillas nutren al ganado bovino, caprino, equino y porcino. Este forraje es aprovechable principalmente en época de sequía.
- Versatilidad de la madera: Su madera es muy manejable en la fabricación de artículos y de ella también se extrae base para chicle.
- Semilla comestible: De su semilla comestible se produce una harina sin gluten y con alto valor proteínico.
- Buen sabor de la semilla: Hervidas o tostadas, sus semillas tienen sabor parecido al de las castañas.
- Sustituto del café: Se usan también como sustituto del café. Contienen aceite esencial, grasa, azúcares y aminoácidos.

### Otras curiosidades del reino Plantae

Hay otros datos interesantes en el reino Plantae (del latín: Plantae, “plantas”); por ejemplo

¿sabías que las plantas pueden contar con un sistema de protección contra algunos herbívoros?, este mecanismo puede ser utilizado por las plantas para su autoprotección, en donde los cristales de oxalato de calcio que se encuentran presentes en las células vegetales generan formas y estructuras duras e indigeribles para los herbívoros; sin embargo, para los algunos insectos este mecanismo es inofensivo ya que presentan una estructura semipermeable que les ayuda a proteger su intestino medio y así minimizar el daño por los cristales de oxalato de calcio; en general los cristales de oxalato de calcio sólo brindan protección efectiva contra seres herbívoros en casos muy particulares debido a la picazón e irritación que provocan. Algunos ejemplos de plantas con este mecanismo son: la planta ornamental *Dieffenbachia* spp., la *Caryota* spp. y la *Abronia latifolia*, (Paiva, 2021).

Por otra parte, ¿sabías que las plantas carnívoras se encuentran entre las curiosidades de la naturaleza al ser diferentes de las otras plantas por su peculiar forma de nutrición?; estas plantas han evolucionado como una adaptación para crecer en ambientes deficientes de nutrientes y son especializadas para atrapar una amplia gama de insectos como fuentes complementarias de nutrientes, especialmente de nitrógeno, pero un dato más allá de la forma de nutrición de estas especies es la capacidad que representan como fuentes de importantes compuestos bioactivos (naftoquinonas) con actividades biológicas sobre efectos antiparasitarios, antibacteriales, insecticidas, fúngicas y antiinflamatorios, entre otros (Devi, Kumaria, Rao, & Tandon, 2016).

Sorprendentemente, las plantas carnívoras del género *Nepenthes* muestran un menor ataque de insectos herbívoros, esto puede ser debido al alto contenido de naftoquinonas (5-hidroxi-2-metil-1,4-naftoquinona) que presentan, las cuales actúan como insecticidas naturales (Rahman-Soad, Dávila-Lara, Paetz, & Mithöfer, 2021).

¿Sabías que las plantas se pueden biocomunicar con algunos organismos con los que interactúan? Este mecanismo lo pueden llevar a cabo mediante señales de fluorescencia que pueden ser beneficiosas para la planta con los polinizadores y organismos de dispersión de semillas o pueden ser en ocasiones señales de advertencias de toxinas para los herbívoros (García-Plazaola et al., 2015).

Es importante considerar que las plantas contienen abundantes moléculas autofluorescentes (pigmentos, compuestos secretores o componentes estructurales de la pared celular) que pueden ser usadas para estudios bioquímicos, fisiológicos y de imágenes; dentro de ese grupo de fluoróforos los dos más estudiados son las moléculas de clorofila y lignina, sin embargo otros fluoróforos (estilbenos, taninos, terpenos) son también autofluorescentes con excitación de luz ultra violeta (UV) o visible (Donaldson, 2020). ¿Qué ventajas tiene la fluorescencia para las plantas?, en este sentido algunas plantas gramíneas (que carecen de otros atrayentes como color, olor o forma) se ha observado que utilizan la autofluorescencia emitida por sus estructuras

florales como atractivos para insectos polinizadores; esta atracción basada en la fluorescencia también es relevante para las especies de plantas con flores que permanecen cerradas durante el día y abiertas al anochecer, ya que a menos luz solar puede causar menos interferencia con la detección de la fluorescencia por parte de los polinizadores; un ejemplo de esta importante curiosidad se ha reportado en *Mirabilis jalapa*, una especie de planta que abre sus flores al anochecer y es polinizada por polillas, este mecanismo se debe a que sus pétalos presentan patrones de fluorescencia contrastantes debido a la distribución irregular de células que contienen betaxantina fluorescente y otras que también contienen betacianina no fluorescente (García-Plazaola et al., 2015).

Finalmente, otros datos interesantes a destacar del grupo de plantas leguminosas y cereales es que contienen altas cantidades de macronutrientes y micronutrientes, pero ¿sabías que algunas plantas también pueden contener factores antinutricionales?; la respuesta es que efectivamente hay algunos cultivos comestibles que pueden contener ciertos compuestos antinutricionales como: saponinas, taninos, ácido fítico, gossipol, lectinas, inhibidores de proteasa, inhibidor de amilasa y bociógenos (Samtiya, Aluko, & Dhewa, 2020). De hecho, el ácido fítico o ácido mioinositol hexafosfórico reduce la biodisponibilidad de proteínas y minerales debido a que la molécula de este ácido contiene 6 grupos fosfato con carga, característica particular que lo hace un excelente agente quelante, ya que puede formar complejos insolubles con proteínas y minerales lo que genera una dificultad a la hora de la absorción de nutrientes; es por lo anterior que este compuesto reduce la biodisponibilidad de éstos nutrientes presentes en frijol negro Japapa (*Phaseolus vulgaris*), arroz (*Oryza sativa*) y guaje (*Leucaena macrocephala*), entre otros (Sotelo, Mendoza, & Argote, 2002).

Otro grupo de estos factores antinutricionales son las saponinas, las cuales son esteroides o triterpenos con una fracción de azúcar en su estructura y se pueden encontrar en especies de plantas como: soya, cacahuate, garbanzo, haba, lentejas, girasol, hojas de espinaca, hojas de té, semillas de quinoa, betabel, avena, yuca, semillas de tomate, espárragos y berenjenas entre otras (Samtiya et al., 2020). Adicionalmente, podemos mencionar a las lectinas de plantas, las cuales son glicoproteínas ligadas a carbohidratos; estas sustancias son altamente antinutricionales y/o tóxicas para los organismos que las consumen. Estas moléculas están presentes en alimentos de plantas comestibles como: jitomate, papa, frijoles, chicharos, zanahorias, soya, cerezas, moras, germen de trigo, arroz, maíz, ajo, cacahuate, champiñones, aguacate, betabel, repollo, té, perejil, orégano, especias, nueces, etc. (Vasconcelos & Oliveira, 2004).

Por último, los taninos son compuestos fenólicos que se forman en las hojas, frutos y corteza de las plantas. Estos compuestos generalmente afectan la digestibilidad de proteínas al formar complejos tanino-proteína y se pueden encontrar en frutos de plantas de granada, bayas

y cacao, aunque también se pueden encontrar en cereales como sorgo y cebada (Samtiya et al., 2020).

## Conclusiones

Las plantas representan un amplio campo de estudio con una incontable infinidad de líneas de investigación, lo cual nos lleva a tener un universo de información sobre las destacadas peculiaridades que presentan ciertas especies.

Esta breve revisión es sólo el inicio del camino de la investigación hacia la búsqueda de respuestas a las preguntas que día a día van surgiendo en torno a curiosidades del reino Plantae, de hecho, esta información es una pequeña herramienta para poder cautivar al lector sobre algunos datos interesantes de tan maravilloso y sorprendente mundo que guardan las diferentes especies de plantas.

Esta información brinda ciertos elementos claves para profundizar en datos interesantes sobre: la fotosíntesis, los pigmentos en las hojas, las plantas acuáticas en biorremediación, plantas ancestrales nativas de México, mecanismos de autodefensa en plantas, peculiaridades de plantas carnívoras, formas de biocomunicación por autofluorescencia y factores antinutricionales presentes en las plantas que consumimos diariamente.

Se debe de poner mayor atención en las nuevas investigaciones, así como en las tendencias futuras de ciertos documentos científicos basados en materiales vegetales con la finalidad de poder encontrar nuevos datos interesantes sobre plantas peculiares y fantásticas, lo cual podría incrementar el conocimiento, entendimiento y actitudes positivas hacia la sustentabilidad del medio ambiente.

## Referencias

- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I. E., Yavas, I., Ünay, A., ... Kalderis, D. (2020). Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5), 1–33. <https://doi.org/10.3390/su12051927>
- Beasley, K., Lee-Hammond, L., & Hesterman, S. (2021). A Framework for Supporting the Development of Botanical Literacies in Early Childhood Education. *International Journal of Early Childhood 2021*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/S13158-021-00291-X>
- Cazzonelli, C. I., & Cazzonelli, C. I. (2011). Carotenoids in nature: insights from plants and beyond. *Functional Plant Biology*, 38(11), 833–847. <https://doi.org/10.1071/FP11192>
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandova, O. (2011). Phytoremediation: An alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612.
- Devi, S. P., Kumaria, S., Rao, S. R., & Tandon, P. (2016). Carnivorous Plants as a Source of Potent Bioactive Compound: Naphthoquinones. *Tropical Plant Biology 2016 9:4*, 9(4), 267–279. <https://doi.org/10.1007/S12042-016-9177-0>
- Donaldson, L. (2020). Autofluorescence in Plants. *Molecules 2020, Vol. 25, Page 2393*, 25(10), 2393. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25102393>
- García-Plazaola, J. I., Fernández-Marín, B., Duke, S. O., Hernández, A., López-Arbeloa, F., & Becerril, J. M. (2015). Autofluorescence: Biological functions and technical applications. *Plant Science*, 236, 136–145. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2015.03.010>
- Hafsi, C., Bettaib, J., Falleh, H., Zorrig, W., Ksouri, R., Abdelly, C., & Debez, A. (2021). Phenolic accumulation and related antioxidant capacity in stems and roots of the Tunisian extremophile *Sulla carnosa* as influenced by potassium application under salinity stress. *Arabian Journal of Geosciences 2021 14:1*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/S12517-020-06334-2>
- Hamann, E., Denney, D., Day, S., Lombardi, E., Jameel, M. I., MacTavish, R., & Anderson, J. T. (2021). Review: Plant eco-evolutionary responses to climate change: Emerging directions. *Plant Science*, 304, 110737. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2020.110737>
- Maatallah, M., Zribi, O. T., Salhi, M., Abdelly, C., & Barhoumi, Z. (2021). Combined effects of salinity and nitrogen levels on some physiological and biochemical aspects at the halophytic forage legume *Sulla carnosa*. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1960316>, 1–16. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1960316>
- MARSCHALL, M., & PROCTOR, M. C. F. (2004). Are Bryophytes Shade Plants? Photosynthetic Light Responses and Proportions of Chlorophyll a, Chlorophyll b and Total Carotenoids. *Annals of Botany*, 94(4), 593–603. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCH178>
- Nishio, J. N. (2000). Why are higher plants green? Evolution of the higher plant photosynthetic pigment complement. *Plant, Cell & Environment*, 23(6), 539–548. <https://doi.org/10.1046/J.1365-3040.2000.00563.X>
- Paiva, É. A. S. (2021). Do calcium oxalate crystals protect against herbivory? *The Science of Nature 2021 108:3*, 108(3), 1–7. <https://doi.org/10.1007/S00114-021-01735-Z>
- Peters, C. M., & Pardo-Tejeda, E. (1982). *Brosimum alicastrum* (Moraceae): uses and potential in Mexico.

*Economic Botany* 1982 36:2, 36(2), 166–175. <https://doi.org/10.1007/BF02858712>

- Prasad, M. N. V. (2007). Aquatic plants for phytotechnology. In S. N. Singh & R. D. Tripath (Eds.), *Environmental Bioremediation Technologies* (pp. 259–274). [https://doi.org/10.1007/978-3-540-34793-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-540-34793-4_11)
- Rahman-Soad, A., Dávila-Lara, A., Paetz, C., & Mithöfer, A. (2021). Plumbagin, a Potent Naphthoquinone from Nepenthes Plants with Growth Inhibiting and Larvicidal Activities. *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 825, 26(4), 825. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26040825>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition* 2020 2:1, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S43014-020-0020-5>
- Sotelo, Á., Mendoza, J., & Argote, R. M. (2002). Contenido de ácido fítico en algunos alimentos crudos y procesados. Validación de un método colorimétrico. *Revista de La Sociedad Química de México*, 46(4), 301–306.
- Speck, O., & Speck, T. (2021). Functional morphology of plants – a key to biomimetic applications. *New Phytologist*, 231(3), 950–956. <https://doi.org/10.1111/NPH.17396>
- Vasconcelos, I. M., & Oliveira, J. T. A. (2004). Antinutritional properties of plant lectins. *Toxicon*, 44(4), 385–403. <https://doi.org/10.1016/J.TOXICON.2004.05.005>
- Whiting, D., Roll, M., & Vickerman, L. (n.d.). *Plant Growth Factors: Light no. 7.711*. Retrieved from [www.ext.colostate.edu](http://www.ext.colostate.edu)